

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ROSILANI TRIANOSKI

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS  
PROVENIENTES DE PLANTIOS EXPERIMENTAIS NO BRASIL**

CURITIBA  
2009

ROSILANI TRIANOSKI

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS  
PROVENIENTES DE PLANTIOS EXPERIMENTAIS NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina AT 063 - Estágio Profissionalizante em Engenharia Industrial Madeireira, como requisito parcial à conclusão do Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos.

CURITIBA  
2009

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela vida e pelo cuidado em todos os momentos de minha existência e especialmente durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais por terem me dado a oportunidade e incentivado a buscar novos objetivos sem medir esforços para que eu pudesse subir todos os degraus da minha vida pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, a quem considero um “PAI”, pelo incentivo a conquistas e apoio em todos os momentos, pela competente orientação deste trabalho e do projeto como um todo, por compartilhar sua sabedoria, amizade, firmeza, determinação e humildade, por confiar no meu trabalho e proporcionar inúmeras oportunidades, e em especial, por sua referência como Professor, Pesquisador e Orientador.

A Empresa Valor Florestal, em especial a Eng.<sup>a</sup> Fabiane Reis Vargas, pela concessão de material para este e demais estudos.

Aos professores do Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira pelos conhecimentos que permitiram meu amadurecimento durante aulas, trabalhos e pesquisas.

Ao Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha pelo incentivo aos objetivos de longo prazo.

Ao Prof. Dr. Umberto Klock, Coordenador do curso, pelo apoio constante.

Ao amigo e hoje Professor, José Guilherme Prata, pelo incentivo ao longo destes anos e por todo apoio e colaboração durante o desenvolvimento do projeto e de outras atividades no Laboratório de Tecnologia da Madeira.

À FUPEF e à Diretoria Executiva Gestão 2003-2004 pela oportunidade inicial, em especial, à Lúcia e Mariza, pelos anos de convivência, estímulo e compreensão.

A colega de turma e amiga Clarice, por todos estes anos de luta e por sempre me ajudar, independente da situação e do momento, bem como a sua mãe Noeli.

Aos colegas do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR pelo auxílio prestado durante o desenvolvimento do projeto.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho..... MUITO OBRIGADA!

*“As portas se abrem diante de uma firme determinação.  
É ela que transforma sonho em realidade.”*

*(Autor desconhecido)*

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - FLORESTAS PLANTADAS COM <i>Pinus</i> .....	15
GRÁFICO 2 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12% E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS.....	66
GRÁFICO 3 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12% DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	73
GRÁFICO 4 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12% DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	86
GRÁFICO 5 – RELAÇÃO ENTRE CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	92
GRÁFICO 6 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	96
GRÁFICO 7 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RADIAL E A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE CINCO ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	98
GRÁFICO 8 – RELAÇÃO ENTRE CISALHAMENTO TANGENCIAL VERDE E SECO A 12% DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	100
GRÁFICO 9 – VALORES MÉDIOS DE DUREZA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	102
GRÁFICO 10 – VALORES MÉDIOS DE DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	104
GRÁFICO 11 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	106

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMAS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO .....	36
FIGURA 2 – LOCAL DE COLETA DO MATERIAL DE ESTUDO .....	52
FIGURA 3 – ÁREAS DE COLETA DO MATERIAL .....	53
FIGURA 4 – AMOSTRAGEM E CORTE DE MATERIAL .....	54
FIGURA 5 – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA .....	55
FIGURA 6 – ENSAIO VERDE E CLIMATIZAÇÃO DE MATERIAL .....	56
FIGURA 7 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA .....	57
FIGURA 8 – ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS .....	58
FIGURA 9 – ENSAIO DE CISALHAMENTO .....	59
FIGURA 10 – ENSAIO DE DUREZA .....	60

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE	41
TABELA 2 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE .....	44
TABELA 3 - VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE <i>P. taeda</i> .....	46
TABELA 4 - ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS ESTUDADAS .....	51
TABELA 5 - CAP E ALTURA TOTAL DAS ÁRVORES COLETADAS .....	53
TABELA 6 – TEOR DE UMIDADE MÉDIO OBTIDO DOS CORPOS DE PROVA DOS ENSAIOS DE <i>Pinus</i> .....	61
TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA OBTIDA DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS MECÂNICOS DE PINUS TROPICAIS...	62
TABELA 8 – EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12% .....	65
TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA PARA DIFERENTES ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS ..	67
TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE <i>Pinus</i> , NAS CONDIÇÕES VERDE E SECA A 12%, AMOSTRAGEM E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO .....	71
TABELA 11 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE FLEXÃO ESTÁTICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	76
TABELA 12 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E FLEXÃO ESTÁTICA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	78
TABELA 13 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	79
TABELA 14 – RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	84
TABELA 15 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE COMPRESSÃO E MASSA	

ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	88
TABELA 16 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	90
TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	91
TABELA 18 – RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	95
TABELA 19 – REGRESSÕES LINEARES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	97
TABELA 20 – REGRESSÕES LINEARES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RADIAL E A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE CINCO ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	99
TABELA 21 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E CISALHAMENTO TANGENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	100
TABELA 22 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DUREZA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	102
TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	103
TABELA 24 - RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, NÚMERO DE AMOSTRAS E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS ...	105
TABELA 25 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE DUREZA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	109
TABELA 26 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E DUREZA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS .....	111
TABELA 27 – VALORES DE REFERÊNCIA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE <i>Pinus</i> .....	112



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente

PMVA – Produtos de Maior Valor Agregado

FAO - Food and Agriculture Organization

EGP – Edge Glued Panel

CAMCORE - Central América and México Coniferous Resources Cooperative

IUCN - União Internacional para Conservação da Natureza

DAP – Diâmetro a altura do peito

MOE – Módulo de Elasticidade

MOR – Módulo de Ruptura

PSF – Ponto de Saturação das Fibras

UE – Umidade de Equilíbrio

C.C.G.M.P.T – Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros  
Tropicais

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.1.1 Objetivos Específicos .....	12
<b>3 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
4.1 HISTÓRICO DO <i>Pinus</i> NO BRASIL .....	14
4.2 IMPORTÂNCIA DO GÊNERO PARA A INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL ...	15
4.3 PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA .....	16
4.3.1 Camcore .....	16
4.3.2 C.C.G.M.P.T. ....	17
4.4 GÊNERO <i>Pinus</i> .....	17
4.4.1 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> .....	18
4.4.2 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> .....	19
4.4.3 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	21
4.4.4 <i>Pinus chiapensis</i> .....	22
4.4.5 <i>Pinus maximinoi</i> .....	24
4.4.6 <i>Pinus oocarpa</i> .....	27
4.4.7 <i>Pinus taeda</i> .....	29
4.4.8 <i>Pinus tecunumanii</i> .....	32
4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	34
4.5.1 Propriedades Elásticas .....	35
4.5.2 Propriedades de Resistência .....	37
4.6 FATORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA .....	38
4.6.1 Massa específica .....	38
4.6.2 Espécie .....	41
4.6.3 Idade .....	42
4.6.4 Teor de Umidade .....	42
4.6.5 Madeira juvenil .....	45
4.6.6 Largura e Uniformidade dos anéis de crescimento .....	47
4.6.7 Percentual de lenhos .....	48
4.6.8 Grã .....	48
4.6.9 Nodosidade .....	49
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
5.1 ESPÉCIES ESTUDADAS .....	51
5.2 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS E AMOSTRAGEM DO MATERIAL .....	51

5.2.1 Descrição do local .....	51
5.2.2 Amostragem do material em campo .....	52
5.2.3 Amostragem e corte do material em laboratório .....	54
5.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA .....	54
5.3.1 Determinação da Massa Específica Aparente e Massa Específica Básica .....	54
5.3.2 Determinação das Propriedades Mecânicas .....	55
5.3.2.1 Flexão Estática .....	56
5.3.2.2 Compressão Paralela às Fibras .....	57
5.3.2.3 Cisalhamento .....	59
5.3.2.4 Dureza .....	60
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
6.1 TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA .....	61
6.2 MASSA ESPECÍFICA .....	62
6.2.1 Correlações entre Massa Específica Aparente e Massa Específica Básica ....	64
6.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA .....	67
6.3.1 Flexão estática .....	67
6.3.1.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Flexão Estática .....	73
6.3.1.2 Influência do Teor de Umidade na Flexão Estática .....	77
6.3.2 Compressão .....	79
6.3.2.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Compressão .....	85
6.3.2.2 Influência do Teor de Umidade na Compressão .....	89
6.3.3 Cisalhamento .....	91
6.3.3.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Cisalhamento .....	96
6.3.3.2 Influência do Teor de Umidade no Cisalhamento .....	100
6.3.4 Dureza .....	101
6.3.4.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Dureza .....	106
6.3.4.2 Influência do Teor de Umidade na Dureza .....	110
6.4 TABELA DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA ESPÉCIES DE <i>Pinus</i> .....	112
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>114</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o perfil do consumo de madeira oriunda de florestas plantadas apresentou substanciais mudanças em função das formas e restrições de exploração, e principalmente em função da disponibilidade de espécies florestais nativas.

As indústrias de base florestal passaram a utilizar espécies de rápido crescimento, buscando principalmente produtividade e consequentemente qualidade. Dentre as espécies de rápido crescimento, as espécies do gênero *Pinus* ganharam destaque, podendo-se verificar uma crescente utilização e demanda.

Dados da ABRAF (2008) demonstram que a produção sustentada de florestas plantadas no Brasil é de aproximadamente 5,7 milhões de hectares, onde o gênero *Pinus* abrange cerca de 1,8 milhões de hectares.

Estima-se que o volume de madeira para uso industrial produzida no país é de aproximadamente 20 milhões de m<sup>3</sup>, e quase 40% é formado por madeira de *Pinus spp*, seja como produtos para usos nobres, ou como produtos de menor valor agregado.

O potencial das espécies de *Pinus* no Brasil é fator fundamental para sustentação da indústria de base florestal, sendo o *Pinus taeda* uma das espécies mais plantadas e comercializadas. No entanto, existem outras espécies de *Pinus*, entre elas, as tropicais, com grande potencial de utilização, tornando-se objeto de pesquisas tecnológicas.

Neste contexto, pesquisas com estas espécies proporcionam o conhecimento das propriedades de sua madeira, fornecendo informações importantes para as diversas fases do processamento industrial, bem como para a geração de novos produtos e utilização final.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar as propriedades mecânicas de espécies de Pinus Tropicais.

#### **2.1.1 Objetivos Específicos**

- Caracterizar as propriedades mecânicas através dos ensaios de Flexão Estática, Compressão Paralela às Fibras, Cisalhamento Tangencial e Radial e Dureza.
- Avaliar a correlação da massa específica com as propriedades da madeira.
- Avaliar a influência do teor de umidade nas propriedades da madeira.
- Elaborar tabela com valores de referência para as propriedades estudadas.

### 3 JUSTIFICATIVA

O gênero *Pinus* é caracterizado como uma das matérias primas mais importantes da indústria madeireira. Suas características tecnológicas e silviculturais, bem como a introdução de espécies tropicais têm promovido uma alternativa substancial na distribuição geográfica das florestas plantadas com este gênero. As áreas de plantio antes restritas a Região Sul e parte da Região Sudeste têm se ampliado atingindo outras regiões, como Norte e Nordeste.

Atualmente a área de florestas plantadas deste gênero segundo dados da Abraf (2008) é de aproximadamente 1,8 milhões de hectares, onde a Região Sul e Sudeste concentram cerca de 1,7 milhões de hectares ou praticamente 95%. Porém as propriedades da madeira provenientes de florestas plantadas, sobretudo com espécies e locais distintos são diferentes das florestas naturais. Segundo Matos (1997), os problemas inerentes ao processamento e a utilização destas florestas estão relacionados principalmente com as diferentes propriedades, devido ao crescimento acelerado.

Além do fator rápido crescimento, uma grande diversidade de espécies de *Pinus* vem sendo introduzidas no Brasil com várias finalidades, entre elas, como uso alternativo ao *Pinus taeda* e ao *Pinus elliottii*, que apresentam limitações tecnológicas.

Constatado o potencial crescente da madeira de *Pinus*, bem como a grande demanda por matéria prima florestal, surge a necessidade de aprofundamento das propriedades da madeira destas espécies e consequentemente dos fatores que exercem influência em tais propriedades. As informações obtidas a partir deste estudo poderão subsidiar decisões importantes tanto nas áreas de manejo e silvicultura, através da produção de florestas, quanto na área industrial, com a utilização adequada, melhoria da qualidade dos bens disponíveis e geração de produtos de maior valor agregado.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 HISTÓRICO DO *Pinus* NO BRASIL

Relatos a respeito da introdução do *Pinus* no Brasil datam de 1880, especificamente no Rio Grande do Sul, com uma espécie denominada *Pinus canariensis*, proveniente das Ilhas Canárias, porém sem muitas informações.

Assim, os primeiros ensaios experimentais com finalidade silvicultural, foram implantados em 1936 em São Paulo, pelo Instituto Florestal de São Paulo. A principal espécie se restringia exclusivamente ao *Pinus elliottii*, de procedência européia, seguida posteriormente do *Pinus taeda* e mais tarde de outras espécies deste gênero, como por exemplo, o *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus kesiya* de procedências centro e norte-americanas (ALENCAR, 1999).

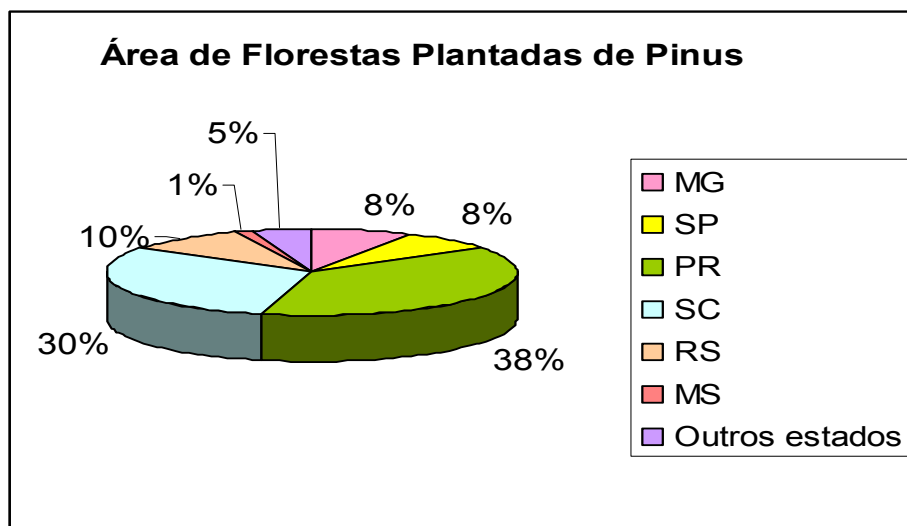
Com a criação da lei de incentivos fiscais em 1966, o processo de expansão da silvicultura brasileira se intensificou. O objetivo era solucionar o problema da falta de matéria prima para a indústria madeireira e, diminuir e regulamentar a exploração florestal. Segundo Matos (1997), o resultado desta iniciativa foi a imediata aplicação da área de florestas plantadas no país, especialmente com exóticas, entre elas o *Pinus*.

Desta forma, e em virtude dos diversos estudos realizados na Região Sudeste, iniciou-se um amplo programa de estudos de adaptação do *Pinus* na Região Sul em associação com várias empresas. Estes estudos contribuíram significativamente ao processo de implantação de florestas comerciais nos estados do Paraná e Santa Catarina, resultando na grande expansão deste gênero na região.

Segundo Shimizu (2005), as espécies que mais se destacaram foram o *P. elliottii* e o *P. taeda*, devido a facilidade de tratos silviculturais, rápido crescimento e reprodução intensa. No entanto, uma grande diversidade de espécies continuou sendo testada, provenientes não somente dos Estados Unidos, mas também da América Central, México, Ásia e Ilhas caribenhas. Este fato foi fundamental para se obter um perfil das características de desenvolvimento de cada espécie viabilizando plantios comerciais nas mais variadas regiões do Brasil.

Na Região Sul, especificamente, a adaptabilidade e desenvolvimento desta matéria prima é incontestável, podendo ser verificado no GRÁFICO 1.

GRÁFICO 1 - FLORESTAS PLANTADAS COM *Pinus*



Fonte: ABRAF (2008), adaptado.

#### 4.2 IMPORTÂNCIA DO GÊNERO PARA A INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL

Ao longo dos últimos anos, o consumo oriundo de florestas plantadas mudou substancialmente em função da disponibilidade e das restrições das florestas nativas. A cadeia produtiva estendeu-se rapidamente para florestas com espécies de rápido crescimento.

Neste contexto a madeira de *Pinus* passou a exercer um papel extremamente importante no suprimento de matéria prima para a crescente demanda e necessidade de grandes volumes das indústrias do segmento industrial madeireiro (BALDANZI; ARAUJO, 1971, MURARA; ROCHA; TIMOFEICZYK, 2005, PEDROSA; IWAKIRI; MATOS, 2005). Os programas de reflorestamento realizados com este gênero tornaram-se mais amplos (MACHADO; CONCEIÇÃO; FIGUEIREDO, 2002), caracterizando a sua madeira como promissora (CARREIRA; DIAS, 2005).

Em todos os setores industriais o *Pinus* permite a fabricação de inúmeros produtos para o mercado interno e para a exportação. Alguns exemplos podem ser



estabelecidos de acordo com o estudo Setorial 2008 da ABIMCI, onde neste ano produziu-se 9,46 milhões/m<sup>3</sup> de madeira serrada de *Pinus*, sendo consumido internamente 8,14 milhões/m<sup>3</sup> e consequentemente o restante foi exportado. Em relação aos painéis compensados, mesmo havendo declínio de produção e consumo, a produção foi de 1,95 milhões/m<sup>3</sup> e a exportação foi de 1,52 milhões/m<sup>3</sup>. Quanto aos produtos de maior valor agregado (PMVA) a partir de madeira de *Pinus*, o mercado continua em ascensão. Fazem parte dos PMVA's portas, molduras, pisos e EGP. A produção de portas no ano de 2008 superou a marca de 9,29 milhões de unidades, a produção de molduras atingiu 8,7 milhões/m<sup>3</sup>, a produção de EGP foi 5,15 milhões/m<sup>3</sup> e os pisos de madeira atingiram uma produção de 35,95 milhões/m<sup>3</sup>.

De acordo com relatos da FAO (2006), existe a perspectiva de crescimento da maioria de produtos florestais e investimentos em especial, nos segmentos de produtos de madeira sólida e na busca de agregação de valor. Este organismo prevê uma mudança na preferência do consumidor por PMVA's, impulsionado por novos produtos, tecnologicamente mais avançados e competitivos e pelo fato de que os mesmos garantam produção sustentável.

Além destes exemplos, o setor de celulose e papel consome grande volume de madeira de *Pinus*, bem como as indústrias de painéis de partículas e fibras e indústrias de móveis.

Verifica-se, desta forma, a importância desta matéria prima e a crescente demanda mundial da madeira de *Pinus*. Segundo Wetela e Bila (2008), o sucesso e a produtividade em larga escala das plantações florestais, dependem da seleção de melhores espécies e procedências.

#### 4.3 PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA

##### 4.3.1 Camcore

A CAMCORE, Central América and México Coniferous Resources Cooperative, foi criada em 1980, com objetivo de promover a conservação de recursos genéticos *ex situ* de espécies florestais nativas da América Central e do México com três objetivos específicos:

- Conservar espécies florestais e nativas e populações.

- Testar espécies amostradas em diversas condições ambientais nos trópicos e subtropicais.
- Desenvolver programas de cruzamento e melhoramento para as que demonstrassem maior potencial.

Várias espécies da CAMCORE produzem madeira de qualidade superior a qualidade do *Pinus taeda*. Espécies sub-tropicais como o *Pinus tecunumannii* oferecem perfis uniformes no sentido medula-casca para massa específica e tem ângulo microfibrilar muito mais baixo, resultando em madeira mais resistente .

Fazem parte da CAMCORE: Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Guatemala, Indonésia, México, Moçambique, USA, África do Sul, Venezuela e Uruguai.

Neste contexto várias empresas florestais brasileiras participam desta cooperativa, tendo testes de progênies implantados em suas áreas.

#### 4.3.2 C.C.G.M.P.T.

O C.C.G.M.P.T. - Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais foi criado a partir de convênio entre o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e o Curso de Engenharia Florestal da ESALQ/USP e as Companhias Agro-Florestal Monte Alegre e Aracruz Florestal S. A. O objetivo deste Centro inicialmente foi instalar pomares de sementes de 3 variedades de *P. caribaea* e conseqüentemente proporcionar ao país, a curto prazo, condições para alcançar uma auto-suficiência na produção de sementes melhoradas geneticamente.

#### 4.4 GÊNERO *Pinus*

Este gênero engloba mais de 100 espécies e a maioria delas representa uma importante fonte de matéria prima para a indústria de transformação da madeira (FRAGA; SILVA JUNIOR; GONÇALVEZ, 2002), conforme comentado anteriormente. Suas espécies estão entre as mais valiosas e comercialmente, são extremamente

representativas. Segundo Walker (1993), as espécies de *Pinus* têm sido extensivamente estudadas por muitos pesquisadores no mundo.

#### 4.4.1 *Pinus caribaea* var. *bahamensis*

O *Pinus caribaea* compreende três variedades, sendo elas, *bahamensis*, *caribaea* e *hondurensis*. Esta espécie caracteriza-se como de rápido crescimento, e as três variedades são produtoras de madeira resinosa para processamento mecânico.

De acordo com Shimizu (2005), quando plantadas em condições favoráveis ao rápido crescimento, as variedades *hondurensis* e *bahamensis* são altamente propensas a produzir um padrão de crescimento apical acentuado e sem ramificação, gerando alta frequência de árvores com forma anormal, também denominado por pesquisadores de "*fox-tail*". Um outro fator que corrobora para a ocorrência deste padrão de crescimento são regiões com alto índice de precipitação.

O *Pinus caribaea* var. *bahamensis* dentre outros *Pinus* tropicais, representa atualmente uma das espécies de maior importância para a produção de madeira e resina em regiões tropicais (MISSIO; MORAES; DIAS, 2007).

Como o próprio nome indica, é proveniente do arquipélago das Bahamas, ocorrendo nas ilhas Grand Bahama, Andros, Abaco e New Providence.

Embora seja originária de locais próximos ao nível do mar, esta espécie tem apresentado bom crescimento no Brasil, tanto ao nível do mar quanto em áreas de planalto. Pode ser plantada em toda a Região tropical brasileira, podendo se estender, inclusive, para a Região Sul, onde o frio é mais intenso, porém desde que as geadas não sejam severas.

Experimentos conduzidos por Moura *et al* (1991), demonstraram que procedências de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* implantadas na região dos cerrados não apresentaram boa adaptação neste tipo de clima. Segundo estes autores, entre as espécies avaliadas o *P. caribaea* var. *bahamensis* foi a de menor crescimento e a altitude do local de plantio influenciou marcadamente as médias de densidade básica, sendo evidenciadas acentuadamente.

Desta forma, condições de baixa altitude e, conseqüentemente, mais tropicais, favorecem positivamente a densidade básica desta espécie.

No aspecto referente ao melhoramento genético, estudos desenvolvidos por Missio *et al* (2004), demonstraram que progênies de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* apresentam variação genética, o que permite dar continuidade ao programa de melhoramento genético desta população. Segundo Zheng, Ennos e Wang (1994); Sebben *et al* (1994) e Gurgel Garrido (1999), os coeficientes de variação genética em testes de progênie desta espécie vêm detectando alto potencial genético para o melhoramento de caracteres de crescimento, forma do fuste e produção de resina, e ganhos na seleção de até 23,4% em altura e 30,6% para DAP. A partir destes resultados, pode-se concluir o grande potencial da espécie para o melhoramento de diversos caracteres de valor econômico para diferentes locais.

Embora o melhoramento genético desta variedade apresente resultados positivos, Shimizu (2006), relata que um dos principais obstáculos para a sua ampla difusão nos plantios comerciais é a dificuldade na produção de sementes.

Em termos tecnológicos a madeira produzida por esta variedade tende a ser mais densa se comparada com as outras duas variedades, apresentando conseqüentemente, melhores propriedades físicas e mecânicas.

#### 4.4.2 *Pinus caribaea* var *caribaea*

Como mencionado anteriormente, o *Pinus caribaea* compreende três variedades. Entre elas, encontra-se a variedade *caribaea*, de procedência cubana e a única que forma povoamentos naturais nesta região. As principais regiões de ocorrência são oeste de Cuba, Pinar del Rio e Isla de la Juventud. Neste país, esta espécie forma povoamentos puros ou mistos com *Pinus tropicalis*, em solos argilosos e com elevado teor de ferro.

O crescimento desta variedade é mais lento que as outras duas. Segundo Heras, Bonilla e Martínez (2006), o *Pinus caribaea* var. *caribaea*, apresenta melhor índice de crescimento em zonas livres de gelo de até 700 m de altitude, solos férteis com boa drenagem e precipitação anual de 1000 a 3000 mm

De acordo com Francis (2008), o índice de incremento anual desta variedade em povoamentos naturais é extremamente baixo, com cerca de 1,4 m<sup>3</sup>/ha.ano. Este baixo índice pode ser explicado pelo fato de que os povoamentos naturais são compostos por árvores velhas, que passaram por muitos anos de supressão e crescimento lento. Em relação às florestas plantadas, estas apresentam maior rendimento em virtude da menor idade, densidade das plantações e melhor qualidade do sítio de crescimento.

Em Cuba, esta é uma espécie fortemente explorada. A intensa exploração madeireira de grandes áreas transformou o habitat em savana. Em virtude dos freqüentes incêndios ocorridos na região, a paisagem apresenta mudanças constantes, e favorece a regeneração de *Pinus tropicalis*, visto que este apresenta maiores condições de regeneração natural do que o *P. caribaea* var. *caribaea*. Esta situação faz com que a variedade *caribaea* seja incluída na Lista de espécies ameaçadas da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN).

Diversos plantios experimentais e comerciais foram implantados nos últimos 50 anos, devido a fácil adaptação à solos pouco férteis. Atualmente, o *P. caribaea* var. *caribaea* é uma espécie muito utilizada para produção de madeira.

No Brasil, as condições ecológicas de desenvolvimento requeridas por esta espécie são as condições encontradas na Região tropical, exceto onde ocorrem geadas severas. A massa específica da madeira, oriunda de florestas de rápido crescimento varia de 350 a 410 kg/m<sup>3</sup>, porém deve-se considerar o sítio de crescimento, e a procedência. Segundo Francis (2008), em material saturado de resina a massa específica pode chegar a 1.000 kg/m<sup>3</sup>.

A forma do fuste apresentado por esta variedade é exemplar, geralmente muito reta, com ramos numerosos e finos e freqüência baixa ou nula de "fox-tail". De acordo com Shimizu (2005), esta variedade também apresenta dificuldade na produção de sementes no Brasil.

#### 4.4.3 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis* ocorre na América Central, desde a Nicarágua, Honduras, México, Guatemala e Belize. Segundo Freitas (2005), novas áreas naturais tem sido encontradas em El Salvador.

A variedade *hondurensis* ocorre em altitudes desde o nível do mar até 700m e, ocasionalmente, até 1.000m, onde as precipitações médias anuais variam entre 2.000 mm a 3.000mm. Shimizu (2006) relata que esta abrangente distribuição natural propicia a geração de variabilidade genética ligada à adaptação a variadas condições ecológicas. O crescimento desta variedade pode chegar até 30m de altura e segundo Moraes, *et al* (2007), o sucesso comercial desta variedade dá-se principalmente pela disponibilidade de sementes no mercado, ao seu bom desenvolvimento em solos pobres e à elevada qualidade da madeira amplamente utilizada na construção civil e nas fábricas de celulose. Entre as três variedades, o *P. caribaea* var. *hondurensis* é o maior produtor de madeira. É uma das espécies mais plantada nos estado de Queensland, Austrália, sendo também de ampla introdução em muitos outros países como outros países da América Central, África e Ásia. (JOHNSTON *et al*, 2003).

No Brasil, os plantios devem ser restritos às regiões livres de geada, devendo-se escolher, cuidadosamente, as procedências originárias de altitudes correspondentes aos dos locais de plantio (SHIMIZU 2005), garantindo desta forma, crescimento e sobrevivência normais. É amplamente plantada nas Regiões Amazônica, Centro-Oeste, Central e Sudeste, abrangendo uma área de aproximadamente 700.000 ha. No Nordeste brasileiro, de acordo com informações de Suassuna (1977), embora haja predominância de clima semi-árido e solos pobres esta variedade está se manifestando de modo satisfatório. Esta espécie tem apresentado ótimo comportamento no viveiro e, atualmente, no campo, é a mais promissora para futuros projetos de reflorestamento nesta região.

Embora seja o maior produtor de madeira entre as três variedades, o *P. caribaea* var. *hondurensis* é também a variedade que apresenta menor massa específica. Francis (2008) menciona que a massa específica básica de florestas plantadas com esta espécie varia entre 350 a 410 kg/m<sup>3</sup>. Já estudos realizados por Rezende, Saglieti e Guerini (1995), demonstraram que a massa específica básica no

DAP para árvores com 8 anos variou de 270 a 560 kg/m<sup>3</sup>. Moura, Parca e Silva (1991), relatam que procedências centro-americanas de *P. caribaea* var. *hondurensis*, sob desenvolvimento no cerrado brasileiro apresentaram grandes variações tanto em massa específica básica quanto em crescimento. Aos 12 anos a massa específica básica média no DAP para esta espécie coletada em três diferentes regiões foi de 420 kg/m<sup>3</sup>. Klock (1989), estudando esta variedade com material procedente de São Paulo obteve uma massa específica básica 410 kg/m<sup>3</sup> para árvores com 14 anos e para árvores de 18 anos com as mesmas características a massa específica básica foi de 450 kg/m<sup>3</sup>. Os resultados encontrados pelos pesquisadores acima citados, bem como as variações entre estes resultados podem ser justificados pela procedência, idade e posição na árvore, bem como pela interação genótipo-ambiente.

Devido à elevada importância do ambiente/clima no desenvolvimento das espécies, Woolaston, kanowski e Nikles (1991), relatam que mais de 50.000 ha de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tem sido estabelecidos em Queensland, na Austrália, com plantações concentradas nas regiões costeiras localizadas a 18°, 22° e 26° de latitude a fim de verificar a influência deste fator, bem como a importância desta espécie como produtora de madeira. Ainda referente à influência do ambiente/clima Hodge e Dvorak (2001), descreveram ensaios de procedências com esta espécie. Foram avaliadas 23 procedências em 3 países, sendo eles, Brasil, Venezuela e Colômbia. Resultados obtidos aos 8 anos demonstraram que no Brasil e na Venezuela, para esta idade a altura média foi de 12m e na Colômbia a altura média foi inferior à 8m. As taxas de crescimento também apresentaram consideráveis diferenças, sendo que, que no Brasil e na Venezuela o incremento apresentado foi de 14-15 m<sup>3</sup>/ha.ano, e na Colômbia, 4-5 m<sup>3</sup>/ha.ano. Assim, verifica-se que Brasil e Venezuela apresentam condições de desenvolvimento semelhantes e superiores às proporcionadas por território colombiano.

#### 4.4.4 *Pinus chiapensis*

O *Pinus chiapensis* é uma grande conífera, endêmica do centro e sul do México e Norte Ocidental da Guatemala (NEWTON *et all*, 2002). Upton e Donahue

(2003), relatam que a distribuição desta espécie ocorre a partir de 15 ° a 20° N de latitude, e 91 ° a 101 ° W de longitude. Segundo este mesmo autor, no México, sua ocorrência mais abundante é nos estados de Oaxaca e Chiapas, podendo ser encontrada isoladamente em Puebla, Guerrero e Veracruz. Na Guatemala, cresce mais abundantemente nos Departamentos de El Quiche e Huehuetenango.

Del Castillo (2002) relata que o *Pinus chiapensis* é um dos recursos florestais mais importantes das montanhas úmidas e subtropicais destes países, porém este mesmo autor, bem como Upton e Donahue (2003) e Syring *et all* (2007), afirmam que esta espécie é considerada rara e ameaçada. É geralmente constituída por pequenas populações remanescentes de 5 a 20 hectares e com pouca ou nenhuma regeneração natural.

O ambiente natural é caracterizado por precipitações elevadas, variando de 1300 a 2300 mm, temperatura média de 20° a 22° C, livre de geadas e em encostas íngremes e solos ácidos. Pode ocorrer em povoamentos puros ou mistos, sendo que em povoamentos mistos cresce associado com *P. maximinoii*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *P. michoacana*, *P. patula* e *P. tecunumanii*.

Apresenta elevada taxa de crescimento, atingindo 30 a 40 m de altura, e 80 a 100 cm no DAP. De acordo com relatos de Shimizu (2005), na fase inicial do estabelecimento dos povoamentos, esta espécie possui tendência de produzir fustes múltiplos e hastes com casca fina, muito susceptível a danos mecânicos ou por fogo. Desta forma, o trabalho de manejo assume elevada importância, onde deve ser feito o raleio para deixar somente um fuste por planta. Del Castillo (2002) menciona que esta espécie tem sido muito apreciada por causa do grande tamanho do fuste.

A madeira produzida por esta espécie é macia e de baixa massa específica, possui tom esbranquiçado com maior evidência desta tonalidade no alburno e cerne ligeiramente mais escuro. A massa específica encontrada na literatura para esta espécie é de 340 a 380 kg/m<sup>3</sup> para povoamentos naturais de oito anos e 340 a 350 kg/m<sup>3</sup> para florestas plantadas de 10 anos (UPTON, 2003).

Em plantios brasileiros, Dvorak e Donahue (1988), relatam que a madeira produzida por esta espécie a partir de 11 procedências foi notavelmente uniforme entre anéis de crescimento, com zona definida bem no cerne. A massa específica aparente (12%) para amostras extraídas a 0,8m foi de 380 a 470 kg/m<sup>3</sup>. Shimizu



(2005) complementa esta informação mencionando que a variação da massa específica na madeira desta espécie é mínima, tanto no sentido medula-casca, como no sentido longitudinal. A homogeneidade nesta característica física é extremamente importante nos processos industriais, pois gera produtos com o mesmo padrão de qualidade.

No Brasil, esta espécie tem apresentado rápido crescimento e alta produtividade de madeira na região Central do Estado de São Paulo, na Zona da Mata de Minas Gerais e no Norte do Paraná, no entanto, os plantios nestas regiões apresentam caráter experimental.

#### 4.4.5 *Pinus maximinoi*

O *Pinus maximinoi* tem ocorrência natural desde o México até a Nicarágua, entre as latitudes 24°N e 12°45'N e longitudes 89°40'W e 106°20'W, em altitudes que variam de 700 a 2.300m nos diferentes países, em zonas de precipitação média anual entre 1.200 a 2.900mm e temperatura média anual entre 17 e 23°C, chegando a 12°C em algumas situações (ETTORI; SATO; SHIMIZU, 2004). Alguns autores mencionam que esta espécie é mais comum entre 1100 e 1800m de altitude. De acordo com Dvorak & Donahue (1988), em regiões mais altas a espécie é encontrada em sítios úmidos com solos profundos e férteis, em associação com *P. tecunumanii* e em menor grau com *P. oocarpa*. Em regiões mais baixas, particularmente no México, esta espécie pode ocorrer em solos mais pobres, com maior percentagem de *P. oocarpa* e *P. michoacana*.

O *P. maximinoi* era considerado *P. pseudostrobus*, antes de classificado como espécie distinta no grupo. Considera-se que toda literatura sobre *P. pseudostrobus* publicada anterior à 1983 na Nicarágua e Honduras trata-se na realidade de *P. maximinoi*, por ser o mais comum em terras altas (STEAD, 1983).

Ao contrário do verdadeiro *P. pseudostrobus*, o *P. maximinoi* não suporta temperaturas baixas prolongadas. Quando a árvore é sujeita a geadas leves em ambientes exóticos, os ramos apicais e terminais secam causando o desenvolvimento de galhos e troncos deformados. Já as geadas severas causam a morte da árvore.

De acordo com Shimizu (2005), esta espécie atinge grandes dimensões, até 35m de altura e 1m de diâmetro. Dvorak e Donahue (1988) relatam que as árvores com 1m de diâmetro têm sido encontradas em associações com *P. chiapensis* em populações de 60 anos de idade no Estado de Oaxaca no México.

Sendo uma das espécies a ser testada pela CAMCORE, o *P. maximinoi* foi introduzido em vários países em escala experimental. Na África do Sul esta espécie apresentou crescimento de 5,4 a 5,7m em altura e 6,5 a 7,4 cm em DAP aos 4,7 anos. Neste estudo concluiu-se que procedências da parte norte da área de ocorrência natural da Guatemala e Honduras, seriam as melhores adaptadas às condições sul-africanas por apresentarem maior crescimento em DAP e sobrevivência (ETTORI; SATO; SHIMIZU, 2004).

Na Colômbia, o crescimento médio foi de 6,2m de altura e 8,8 cm de DAP aos 2,7 anos e 10,4m de altura e 15,6cm DAP aos cinco anos de idade. Novamente as procedências da Guatemala e Honduras foram superiores.

No Brasil, alguns experimentos foram instalados. Em Poços de Caldas, Minas Gerais, o *P. maximinoi* revelou ser uma das espécies de Pinus mexicano que mais se destacou em altura e sobrevivência aos cinco anos de idade (7,5m e 72,4% respectivamente).

Já em Campos do Jordão, São Paulo, experimentos com sementes procedentes de Honduras, Guatemala e Nicarágua não apresentaram diferenças significativas aos oito anos, porém Dvorak & Donahue (1988), comentam que nesta mesma região a procedência Confradia apresentou o melhor resultado com média de 9,8m de altura.

Dvorak *et al* (2003), relata que em experimentos estabelecidos em áreas subtropicais do Brasil o *P. maximinoi* cresceu muito mais rapidamente que o *P. taeda* e apresentou madeira juvenil com propriedades uniformes e estáveis, similares ou melhores que o *P. taeda*. Segundo este mesmo autor a possibilidade de utilização do *P. maximinoi* puro ou como uma espécie híbrida com o *P. taeda* em regiões subtropicais da América do Sul, parece ser bem sucedida.

De acordo com Shimizu (2005), esta espécie também pode ser plantada em toda a região tropical, no entanto locais de baixa altitude tende a apresentar incidência de “fox-tail”. As regiões de Cerrado de São Paulo são as mais adequadas,

com alto incremento volumétrico e fuste de boa forma, porém em fase experimental. Já na Região Sul, a cultura desta espécie limitada devido a ocorrência de geadas severas.

Quanto à qualidade da madeira, poucas informações são encontradas sobre a madeira de *P. maximinoi* crescendo em ambiente nativo, e muito mais raras ainda, nas plantações exóticas. Klock (2000) relata em sua revisão de literatura que a massa específica obtida por alguns pesquisadores para a madeira juvenil desta espécie foi de 430 a 490 kg/m<sup>3</sup> para madeira adulta a partir de três procedências. Wrigth & Wellels (1992), estudando árvores com 10,5 anos, com características dominantes obtiveram massa específica de 460 kg/m<sup>3</sup> com variação de 400 a 510 kg/m<sup>3</sup>. Já Klock (2000), avaliando a qualidade da madeira desta espécie em experimentos com 15 anos localizados no Estado do Paraná, obteve massa específica variando de 370 a 460 kg/m<sup>3</sup> ao longo do fuste, e concluiu que a madeira juvenil de *P. maximinoi* apresenta variação da massa específica básica menor que o *P. taeda*. Um outro aspecto relatado por este mesmo autor refere-se ao percentual de lenho tardio, onde o *P. maximinoi* apresenta uma variação de 8,20 a 5,17% (sentido base-topo) e o *P. taeda* 40,07 a 15,65%. Esta grande diferença entre o percentual de lenho tardio entre as duas espécies provavelmente está relacionada a fatores genéticos, ambientais, silviculturais, etc. Em vista deste resultado Dvorak *et al* (2003), afirmam a maior homogeneidade da madeira de *P. maximinoi*. As propriedades de resistência da madeira juvenil de *P. maximinoi* são ressaltadas por Klock (2000), comparando com o *P. taeda* em mesmas condições. Este autor concluiu que as propriedades de flexão estática desta espécie apresentaram-se superiores ao *P. taeda*, podendo significar grandes vantagens na utilização da madeira desta espécie. Nas propriedades de compressão paralela às fibras o Módulo de Ruptura do *P. maximinoi* foi inferior e o Módulo de Elasticidade foi similar. A resistência ao cisalhamento na direção tangencial foi superior ao *P. taeda*, possivelmente em razão de sua maior homogeneidade, e no sentido radial foi semelhante, indicando potencial utilização estrutural da madeira em vigas laminadas e em outros materiais compostos. Quanto à dureza, o *P. maximinoi* mostrou-se inferior, sendo justificada muito provavelmente pela maior percentagem de lenho tardio.

De maneira geral, a madeira desta espécie é resistente, e considerada de alta qualidade, tanto para processamento mecânico, quanto para a produção de celulose e papel.

#### 4.4.6 *Pinus oocarpa*

O *Pinus oocarpa* Schiede é uma importante espécie de *Pinus* nativa do México e América Central (MOURA; DVORAK; NOGUEIRA, 1998). Em sua região de origem, o *Pinus oocarpa* ocorre de forma amplamente distribuída, em latitudes de 12°45'N na Nicarágua até 28°21'N em Sonora, México e longitudes de 85°51'W e 108°36'W. O seu habitat natural situa-se em altitudes que variam de 300m a 2.000m, com precipitação média anual de até 2.000mm (CÉSAR; SHIMIZU; ROMANELLI, 1988).

Entre as diversas procedências, Shimizu (2005) relata que o melhor desempenho se observa nas encostas bem drenadas, em regiões temperadas amenas a semi-tropicais. César, Shimizu e Romanelli (1988), complementam esta informação sugerindo especial atenção às populações de regiões com precipitação anual de até 900mm, com estação seca severa e prolongada, como possíveis fontes de material genético valioso para as regiões tropicais com chuvas estacionais.

Esta espécie constitui aproximadamente 45% das florestas de *Pinus* de Chiapas, 50% da Guatemala, 66% de Honduras, 90% da Nicarágua e 60% de El Salvador (MOURA; DVORAK, 1998).

Os primeiros plantios de *P. oocarpa*, como exótica, foram efetuados em 1911, na África do Sul e em outros países, nos anos 50, com sementes originárias do México. Como esses plantios, invariavelmente, produziam baixos incrementos e má forma de fuste, não houve, inicialmente, muito interesse pela espécie para reflorestamento. Entretanto, novas coleções procedentes da América Central, estabelecidas nos anos 60, resultaram em altos incrementos e excelente forma de fuste, demonstrando o alto potencial da espécie, quando são utilizadas sementes de procedências apropriadas

Para determinar o potencial de adaptabilidade e produtividade do *P. oocarpa* em cada região, foram estabelecidos testes de procedência, sob coordenação do Commonwealth Forestry Institute (C.F.I.), Oxford, em diversos países. Pelas análises do crescimento nessa rede experimental, parece haver um consenso de que ele diminui e as formas de fuste e copa das árvores pioram, à medida que aumenta a latitude das suas origens. Há relatos de tendências semelhantes, nesse sentido, na África do Sul, em Sri Lanka, em Zimbabwe, na Costa Rica, e na Austrália. Existem estimativas de que aproximadamente 50% da variação em crescimento de *P. oocarpa*, na Austrália, estão associados à latitude de suas origens (CÉSAR; SHIMIZU; ROMANELLI, 1988).

No Brasil, as plantações comerciais de *P. oocarpa* foram introduzidas no início de 1960 (WRIGHT; GIBSON; BARNES, 1986). Com o incentivo dos programas de reflorestamento, largas áreas de plantações foram estabelecidas na década de 70, principalmente nas regiões de Cerrado (MORAIS, 2005). As maiores áreas situam-se nos Estados de São Paulo e Minas Gerais (KAGEYAMA, *et al* 1977). De acordo com Shimizu (2005), não se recomenda o plantio desta espécie na Bacia Amazônica, onde ela é vulnerável a doenças de origem bacteriana.

Foelkel *et al* (1975), menciona a importância do *P. oocarpa* no Brasil pelo seu excelente ritmo de crescimento e suas ótimas qualidades silviculturais, desrama natural fácil, copa leve e ramos finos.

As maiores produções volumétricas de acordo com estudos realizados por Sampaio, Resende e Araujo (2002), na região de São Paulo, são apresentadas pelas procedências Guaimaca, Lãs Crucitas e San Marcos, originadas de regiões de menor longitude e latitude. A produtividade volumétrica média desta espécie na região de estudo foi de 0,296 m<sup>3</sup> por árvore aos 9 anos de idade e a seleção para o melhoramento genético permite um aumento de 0,341m<sup>3</sup>.

Esta espécie é produtora de madeira com tonalidade amarelada e cerne marrom pálida, de dureza média e alta resistência, sendo usada também para extração de resina em sua origem.

Quanto à qualidade da madeira, poucos estudos aprofundados têm sido conduzidos com *P. oocarpa*. Brasil, Nicoliele e Veiga (1980), relatam que a massa específica da madeira para esta espécie na região de Agudos, São Paulo, aos 7, 13

e 14 anos foi de 430, 490 e 500 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Estas diferenças são esperadas pois a densidade tende a aumentar com a idade, sendo resultados do aumento dos elementos constituintes da madeira até certo ponto e da formação da madeira adulta. Para o *P. oocarpa* a formação da madeira adulta está entre os 7 e 13 anos. Klock (1989), também estudando esta espécie na mesma região, porém com 14 e 18 anos obteve massa específica de 440 kg/m<sup>3</sup>, para as duas idades. Mendes *et al* (2001), em pesquisa com árvores de 14 anos na região de Lavras, Minas Gerais, obteve massa específica básica média para a madeira de *P. oocarpa* de 450 kg/m<sup>3</sup>. Este mesmo autor menciona que as melhores posições de amostragem para indicar a massa específica estão situadas a 50% da altura comercial, seguida da posição do DAP, e que é provável que a tendência de variação da massa específica encontrada, aos 14 anos para *P. oocarpa* seja alterada com o desenvolvimento e maturação da árvore. Para estudos conduzidos por Rezende, Saglietti e Guerrini (1999), a massa específica básica média da madeira de *P. oocarpa* aos 24 anos a partir de árvores procedentes de Agudos - SP foi de 550 kg/m<sup>3</sup>.

Estas diferenças de resultados podem ser justificadas, como mencionado anteriormente, pela idade da árvore. Outros fatores também podem exercer influência tais como, espaçamento, disponibilidade de nutrientes e tratamentos silviculturais.

Quanto à utilização, a madeira desta espécie para a indústria de celulose e papel tem sugerido uma boa qualidade para este fim, e uma equivalência em qualidade com as mais importantes espécies de *Pinus* do Sul dos Estados Unidos. Além disso, a exportação da madeira de populações naturais para os Estados Unidos e para a Europa tem mostrado que a mesma é aceitável no mercado internacional (KAGEYAMA *et al*, 1977).

#### 4.4.7 *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* é uma das principais espécies que ocorre naturalmente em toda a Região Sul dos Estados Unidos da América (VALERI; SOARES; MONTEIRO, 1989). Esta espécie se destaca devido a grande distribuição geográfica, em

povoamentos puros e abundantes. Em sua região de origem se desenvolve desde o nível do mar até altitudes acima de 600m, entre as latitudes 29°N até 38°N e longitudes de 75°W e 95°W (BARRICHELO *et al*, 1977). Segundo Tang e Newton (2001), e Oliveira *et al* (2006), é uma conífera economicamente importante, largamente plantada em regiões temperadas e subtropicais.

Nos Estados Unidos, as plantações de *P. taeda* são dominantes e possuem altas taxas de crescimento, sustentando a manufatura de uma ampla gama de produtos florestais. Pesquisas com melhoramento genético e refinamento das práticas silviculturais tem aumentado substancialmente o desenvolvimento e crescimento desta espécie (JONES *et al*, 2005).

Esta espécie também foi introduzida em outros países com muito sucesso, no entanto houve uma grande preocupação com estudos de procedências, visto que este fator tem revelado amplas variações e que devem ser exploradas para o aumento da produtividade de plantios comerciais.

Em estudo de procedências com esta espécie na Rodésia, ocorreram diferenças significativas para alturas de plantas e área basal. A procedência da Flórida foi invariavelmente a de melhor comportamento para essas duas características nos diversos locais testados. Encontrou-se correlação negativa entre latitude da origem das sementes com alturas das plantas e área basal. Já ensaios feitos no Uruguai mostraram resultados similares confirmando um melhor comportamento para as procedências da Flórida. Observou ainda que as procedências do sul da distribuição da espécie têm-se revelado superiores às procedências mais ao norte. Em testes de procedências na Austrália as origens da Flórida e áreas costeiras do Golfo (Carolina do Sul e Geórgia) se mostraram com maior crescimento que as do norte, interior e oeste da distribuição da espécie. (BARRICHELO *et al*, 1977).

No Brasil, também foram implantados experimentos de *P. taeda* a fim de se identificar a melhor procedência. Informações compiladas por Shimizu e Higa (1981), relatam de maneira geral que ensaios instalados em Rio Negro, PR; Telêmaco Borba, PR; Lages, SC; Capão Bonito, SP, Irati, PR, Três Barras, SC e Pelotas, RS apresentaram semelhantes tendências e indicativos de que procedências da Flórida seriam as de maior destaque. Mendes (1983) corrobora esta informação relatando

que na Região do Paraná as procedências da Flórida apresentam melhores resultados.

Em vista desta melhor adaptação grandes áreas foram e continuam sendo plantadas no Paraná e em Santa Catarina. (HIGA, 1973; SELLE; SCHNEIDER; FINGER, 1994). A preferência por esta espécie fundamenta-se na maior produtividade volumétrica, em comparação com as demais espécies do gênero *Pinus*. Embora os reflorestamentos com *P. taeda* tenham sido implantados inicialmente, com o objetivo principal de produzir matéria-prima para celulose e papel, o seu uso vem se diversificando. Alcântara *et al* (2007), relatam que a espécie esta sendo utilizada amplamente como matéria prima em serrarias, laminadoras, indústrias de aglomerados, MDF, celulose e papel. Muitos outros autores, como por exemplo, Matos (2002); Lorenzi, Souza e Torres (2003), Oliveira *et al* (2006), e Marta e Muller (2007), também afirmam que a espécie é fundamental na construção civil, industria moveleira e indústrias de produtos de maior valor agregado. Além disso, Shimizu e Amaral (1987) ressaltam a sua importância mencionando que devido a sua característica como espécie pioneira, ela tem um grande potencial para a recomposição da cobertura arbórea, em áreas com vegetação degradada pela exploração das madeiras nobres da mata nativa.

Em relação à qualidade da madeira desta importante espécie muitos trabalhos têm sido desenvolvidos. Alguns deles relatam que as propriedades tecnológicas apresentam grandes variações dentro da própria árvore e de acordo com o sítio de crescimento, bem como em relação ao regime de manejo.

De acordo com estudos conduzidos por Oliveira *et al* (2006), o *P. taeda* apresenta uma massa específica aparente de 430, 490 e 560 kg/m<sup>3</sup> para 9, 13 e 20 anos respectivamente. Chies (2005), avaliando a influência do espaçamento sobre a qualidade da madeira de *P. taeda*, obteve massa específica básica ponderada de 410 a 430 kg/m<sup>3</sup> para árvores com 21 anos. Já em relação a massa específica básica ao longo do fuste, este mesmo autor encontrou valores que variaram de 340 a 480 kg/m<sup>3</sup>. Weber (2005), ao estudar a massa específica para esta espécie com 13 e 14 anos na região de Misiones na Argentina, encontrou um valor médio de 390 kg/m<sup>3</sup>. A alta variabilidade da densidade na árvore e entre árvores é característica conhecida para espécies do gênero *Pinus*, podendo chegar a 30% em relação a média da espécie.



#### 4.4.8 *Pinus tecunumanii*

O *Pinus tecunumanii* (sinônimo de *Pinus patula* spp. *tecunumanii*) é uma das mais de cem espécies do gênero *Pinus* que se destacou nas características de crescimento, forma de fuste e densidade da madeira em testes com espécies e procedências de *Pinus* tropicais, realizados em diversos países, inclusive na região dos Cerrados (MOURA, 2004). Esta espécie segundo Wight (1988), Lima, Jett e Dvorak (1990), Shimoyama e Wiecheteck (1993) e Hodge e Dvorak (1999), possui elevado potencial de crescimento podendo tornar-se uma das mais importantes coníferas para plantios de florestas tropicais comerciais.

O *P. tecunumanii* ocorre naturalmente entre as latitudes 13° e 28° N, nas montanhas da América Central e do Sul do México (EGUILUZ-PIEDRA & PERRY 1983). Shimizu (2005) relata que a precipitação média anual em toda a área de ocorrência varia entre 1.200 e 2.000 mm e o melhor crescimento se observa nas encostas com solos férteis, profundos e bem drenados. Hodge e Dvorak (1999) mencionam que esta espécie ocorre em populações isoladas em altitude que varia de 400 a 2800m. Osório (1989) estabelece esta classificação em procedências de altitude elevada e procedências de baixa altitude e Shimizu (2005) complementa esta classificação estabelecendo dois grupos, o que ocorre em altitudes de 450 a 1.500m e o que ocorre em altitudes de 1.500 a 2.900m. De acordo com último autor, povoamentos de altitudes acima de 1500m apresentam aparências semelhantes às de *Pinus patula* e povoamentos com altitude abaixo de 1500m apresentam certas semelhanças com *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea*. Estudos com marcadores moleculares mostram esta clara separação entre a baixa e alta elevação das populações de *P. tecunumanii* e sugerem que esta espécie pode partilhar uma estreita história evolutiva com *P. oocarpa* e *P. caribaea* var. *hondurensis*.

A altitude segundo Dvorak (1996), exerce grande influência no desenvolvimento dos povoamentos de *P. tecunumanii*. Em solos profundos e férteis da Floresta Montana da Guatemala e de Honduras, árvores de povoamentos de alta elevação podem atingir 55m de altura e mais de 100 cm no DAP. A taxa de crescimento nesta condição varia de 5 a 8 m<sup>3</sup>/ha.ano. Já árvores de populações de baixa altitude raramente apresentam altura superior a 30m e 60cm de DAP, e a taxa de crescimento nesta condição varia de 3 a 8 m<sup>3</sup>/ha.ano.

No Brasil, esta espécie tem sido extensivamente testada (DVORAK; DONAHUE, 1998). É muito valorizada pela alta produtividade nos cerrados das regiões Centro-Oeste e Sudeste e pela alta qualidade da madeira. A região recomendável para o plantio de *P. tecunumanii*, coincide com a do *P. caribaea*, podendo incluir a Bacia Amazônica e as planícies costeiras (SHIMIZU, 2005).

Os plantios estabelecidos quase que exclusivamente no cerrado brasileiro, também têm demonstrado a influência da altitude, porém populações de baixa altitude normalmente têm apresentado maior crescimento volumétrico e também maior massa específica, sendo que os usos destas populações são mais recomendadas para serem incluídas nos processos de melhoramento genético (MOURA; DVORAK, 1998). Melhoristas florestais ressaltam que em função do grande potencial de produção e da capacidade de adaptação aos mais diversos ambientes, esta espécie se apresenta como espécie alternativa para atividades de reflorestamento (CORNACCHIA *et al*, 2008). As procedências de Mountain Pine Ridge, Belize e Yacul são as mais indicadas para o território brasileiro (MOURA; VALE, 2002).

A madeira produzida por *P. tecunumanii* em condições naturais ou florestas plantadas tem apresentado massa específica básica de moderado a alto valor entre as espécies de *Pinus*. Moura, Dvorak e Nogueira (1998), e MOURA *et al* (2004) através de experimentos implantados no Distrito Federal, demonstraram que a massa específica básica para árvores de 12 anos e 17 anos foi 420 kg/m<sup>3</sup> e 460 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Outros estudos realizados por Moura e Vale (2002), para determinação da variabilidade genética na massa específica básica da madeira com procedências mexicanas e centro-americanas plantadas no cerrado brasileiro demonstraram que a massa específica básica média das madeiras de procedência centro-americana foi de 420 kg/m<sup>3</sup>, altura média de 17,8m, diâmetro médio (DAP) de 23,6 cm e volume de 0,315 m<sup>3</sup>. As procedências mexicanas apresentaram massa específica básica de 400 kg/m<sup>3</sup> altura média de 17,12m, diâmetro médio (DAP) de 22,78 cm e volume de 0,281 m<sup>3</sup>.

De acordo com Wright (1988), esta espécie apresenta massa específica superior às espécies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. chiapensis*. Informações referentes à massa específica do *P. tecunumanii* são complementadas por Shimizu

(2005), que relata que a variação interna em massa específica, tanto no sentido medula-casca quanto no sentido longitudinal é substancialmente menor que em outras espécies de *Pinus*, como por exemplo, *P. taeda*.

Hodge e Dvorak (1999) relatam que a massa específica da madeira desta espécie é aceitável para diversas finalidades. Wright (1988) complementa a aptidão desta espécie para plantios comerciais e menciona que considerando regiões semelhantes ao seu estudo, esta espécie produz madeira com propriedades adequadas a produção de papel kraft e a usos estruturais. Shimoyama e Wieheteck (1993) ampliam o uso desta espécie, relatando que é adequada à fabricação de pastas e de painéis de madeira.

Quanto a caracterização mecânica, pesquisas desenvolvidas por Moura, Vale e Oliveira (2005), demonstram que o *P. tecunumanii* aos 18 anos apresenta valores intermediários de resistência e características tecnológicas similares a outras espécies de coníferas, colocando-a como espécie potencial para entre outros usos nobres o da movelaria.

#### 4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Um dos principais objetivos da atividade florestal é a produção de madeira para diversas finalidades. A aptidão deste material para cada tipo de utilização é estabelecida de acordo com suas propriedades e características físico-mecânicas. Os resultados das propriedades físicas e mecânicas são parâmetros para uma avaliação da utilização e potencialidade da madeira e uma estimativa de seu poder de concorrência no mercado.

Embora a experiência de uso e a disponibilidade da madeira frequentemente decidam quais são as espécies a serem utilizadas para uma determinada finalidade Muñiz (1993) e Araujo (2007), relatam que um conhecimento mais detalhado é fundamental para definir adequadamente as aplicações e para uma utilização mais eficiente e segura.

A determinação das propriedades mecânicas de um material é realizada por meios de vários ensaios. Os ensaios mecânicos, se resumem mais comumente em

ensaios de flexão, compressão, dureza, tração, cisalhamento e tem a finalidade de caracterizar um material obedecendo uma norma específica. Na maioria das vezes estes ensaios são destrutivos, pois promovem a inutilização do material testado. Os ensaios podem, além de caracterizar o material, servir para comparação de materiais distintos (SOUZA, 1982).

Como exemplo da importância de se conhecer o material a ser utilizado na indústria de base florestal, pode-se mencionar a indústria moveleira que busca informações sobre a instabilidade dimensional, características de superfície, coloração, a indústria de celulose e papel interessada na densidade, comprimento de fibras ou traqueóides e suas relações com a qualidade do papel, a indústria de geração de energia que busca espécies e subprodutos com bom poder calorífico, a indústria de painéis, interessada nas características da madeira para um processo e uma colagem adequada e por fim, a utilização da madeira para fins estruturais ou outros produtos de maior valor agregado, onde se há extremo interesse nas propriedades de resistência da madeira para os diversos tipos de esforços solicitados.

Bodig e Jayne (1993) complementam a importância de se conhecer dados de resistência mecânica devido a crescente diversidade na utilização de produtos de madeira, tanto da madeira de diferentes espécies atualmente em uso, como de novas espécies.

Para que possam ser entendidas todas as exigências relativas às propriedades mecânicas ou aos esforços que a madeira será submetida em sua utilização, há necessidade de conhecer as propriedades de resistência e elasticidade (MELO, 2004).

#### 4.5.1 Propriedades Elásticas

Quando um corpo sólido é exposto a uma determinada carga, ele sofre deformação. Quando a deformação produzida devido à aplicação desta carga é completamente anulada, ou seja, quando o corpo retorna a posição e forma inicial ele é denominado elástico. O Módulo de elasticidade (MOE) é obtido sempre abaixo do

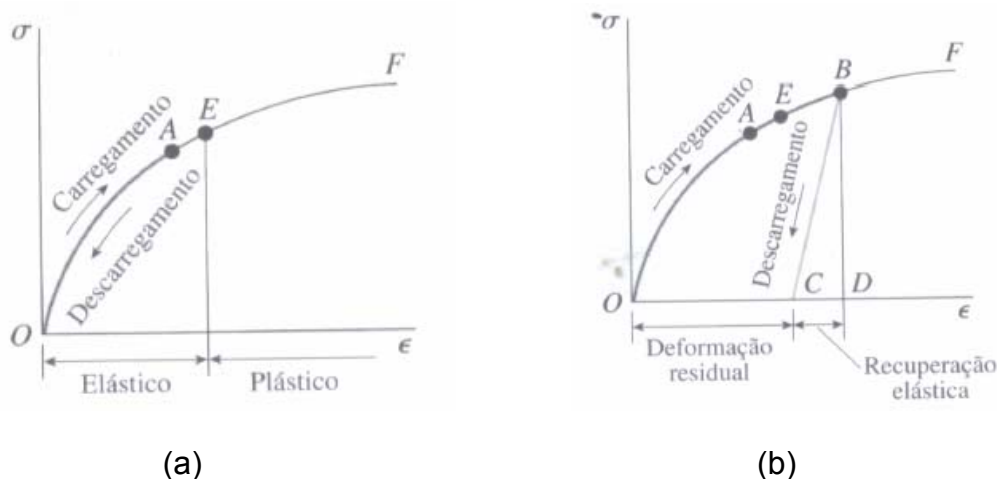
limite de proporcionalidade. Além do limite proporcional, as deformações sofridas são irreversíveis (KOLLMANN; COTÊ, 1968; TSOUKIS, 1991; MUÑIZ, 1993; MATSUNAGA, 1995; MATOS, 1997; KLOCK, 2000).

De acordo com Matos (1997), o limite proporcional de um material é determinado no diagrama carga-deformação. O ponto sobre o diagrama onde a linha começa perceptivelmente a curvar-se é o limite proporcional.

As deformações elásticas são proporcionais às causas que as originam (LANGENDONCK, 1960), e seguem a Lei de Hooke. Ferrante (2002) complementa esta afirmação, mencionando também o regime plástico, também denominado permanente, que é obtido quando se excede o limite proporcional.

Na FIGURA 1 pode ser observado dois diagramas de tensão-deformação, ilustrando o comportamento do material onde (a) apresenta as regiões elásticas e plásticas e (b) demonstra uma material que sofreu carregamento e deformações inelásticas, ou irreversíveis.

FIGURA 1 – DIAGRAMAS DE TENSÃO-DEFORMAÇÃO



Fonte: Gere (2003)

O MOE é a inclinação no diagrama tensão-deformação na região elástica linear. Nesta região a deformação não é apenas linear, mas também proporcional. (GERE, 2003). Bodig e Jayne (1993) relatam que o Módulo de Elasticidade é determinado através dos ensaios de flexão estática, tração e compressão.

Fisicamente, pode-se dizer que a elasticidade é a propriedade que os corpos têm de armazenar, sob a forma de energia potencial interna, o trabalho mecânico de deformação provocado por uma solicitação externa, devolvendo esta energia total ou parcialmente quando retornam a posição inicial.

Em termos práticos, o MOE expressa a carga necessária para estender um corpo de  $1 \text{ cm}^2$  de área transversal de uma distância igual ao seu próprio comprimento. É um valor teórico introduzido para maior facilidade de cálculo, pois nunca se consegue uma deformação da grandeza do comprimento do próprio corpo, porque antes disso ocorrerá a ruptura.

O MOE é uma propriedade intrínseca do material e depende de dois parâmetros: rigidez das ligações atômicas e densidade das ligações (nº de unidade de área) (FERRANTE, 2002).

Para melhor compreensão do conceito de MOE, algumas relações podem ser estabelecidas: quanto maior o MOE, mais alta a resistência, e segundo Tsoumis (1991) maior a dificuldade do corpo se curvar; e quanto menor o valor do MOE, pior será a aptidão do material para fins estruturais.

A dificuldade de o material curvar-se segundo a consideração de Tsoumis (1991), expressa a aptidão de o material resistir à deformação imposta pela carga, e usualmente segundo Matos (1997), este material é chamado de rígido. Por outro lado, este mesmo autor complementa sua exposição mencionando que um material que é fácil de se curvar sem quebrar, é chamado de flexível.

#### 4.5.2 Propriedades de Resistência

Gere (2003) define resistência como à capacidade de uma estrutura resistir cargas e Ferrante (2002), afirma que a resistência é uma propriedade fortemente dependente da composição e característica do material. Fusco (1993) complementa esta definição relatando que resistência é a aptidão da matéria suportar tensões e que é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos de prova de um material até o aparecimento de fenômenos particulares de

comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De acordo com Matos (1997), a resistência máxima de um material é definida como o esforço máximo que ocorre na ruptura. Segundo este último autor, alguns materiais possuem reservas consideráveis de resistência entre o limite elástico e a resistência máxima.

Frequentemente a resistência de um material está associada à idéia de que sua limitação é determinada pelo fenômeno de ruptura, ou seja, pela desagregação do próprio material. Embora este fenômeno não implique na desagregação do material, eles são tratados de modo convencional, como se fossem fenômenos de ruptura (FUSCO, 1993).

A resistência é uma característica própria de cada material como mencionado anteriormente, e na madeira, esta propriedade é característica de cada espécie. De acordo com Matos (1997), ainda dentro de uma única espécie testes em corpos de prova de mesmas dimensões e nas mesmas condições, podem resultar em uma considerável variação de valores de resistência. Esta variabilidade nos resultados deve ser levada em consideração quando o esforço admissível para diferentes espécies e classes de madeiras para fins estruturais são estabelecidos.

Geralmente os testes ou ensaios consistem na obtenção de dados correspondentes ao carregamento lento e contínuo, aplicado a um corpo de prova especialmente preparado e das deformações resultantes (ROCHA; PAULA; SIQUEIRA, 1988).

De acordo com Bendsten (1978) o entendimento das características da madeira é essencial. Desta forma, para uma classificação adequada em classes de resistência, há uma necessidade de se conhecer as variáveis e fatores de influência e de que forma eles afetam a resistência.

#### 4.6 FATORES QUE INFLUENCIAM AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

As propriedades da madeira são afetadas por uma série de fatores: genéticos, práticas silviculturais, condições de desenvolvimentos, sitio solo,

densidade, idade, teor de umidade, proporção de lenho inicial e tardio, madeira juvenil, etc (WANG *et al* 2005; CATO *et al*, 2006; HASELEIN *et al*, 2000).

Entre estes inúmeros fatores, alguns deles serão apresentados neste trabalho, sendo os de maior importância e maior influência nas propriedades mecânicas da madeira.

#### 4.6.1 Massa específica

A massa específica básica está estreitamente ligada à qualidade da madeira, e é uma característica bastante utilizada por pesquisadores na determinação do uso final da madeira (MOURA, 1983; KLOCK, 2000; DIAS; LAHR, 2004; PALERMO *et al*, 2004; CHIES, 2005; RIGATTO, 2007).

Segundo Arganbrigh (1971), Pio (2002), Scanavaca Junior; Garcia, (2004), Weber (2005), é uma das características mais importantes e significativas na caracterização tecnológica da madeira, visto que sua variação afeta resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira. Melo (2004) complementa afirmando que as espécies de maior massa específica correspondem, quase sempre, a maior resistência e maior retratibilidade. Dias e Lahr (2004) afirmam ser a propriedade física mais significativa para caracterizar madeiras para a construção civil, fabricação de chapas ou à utilização na indústria de móveis.

Lahr (2004) afirma que todas as demais propriedades da madeira estão relacionadas à sua densidade, sendo esta o ponto de partida no estudo da madeira, para as mais diversas formas de utilização. Xavier, Matos e Trianoski (2008) relatam que através dela pode-se prever o comportamento da madeira e o conhecimento dessa propriedade auxilia na otimização da produção da madeira e dos tratamentos silviculturais. Rosado e Brune (1983) menciona que a massa específica além de estar relacionada com a produtividade das florestas, orienta a elaboração e a condução dos planos de corte e Trugilho *et al* (1990), conclui que pode ser um subsídio para avaliação econômica da floresta. De forma geral, a massa específica fornece inúmeras informações e relações com outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado nos diversos segmentos (SILVA *et al*, 2004).



É considerada pelas indústrias de base florestal, como uma das mais importantes propriedades por ser de fácil determinação e por estar correlacionada com rendimentos e características de diversos produtos, além de ser alterada através de tratos silviculturais e manipulada geneticamente (SHIMOYAMA, 2005; RIGATTO, 2007).

A massa específica é definida como a relação entre o peso seco da madeira e o seu volume obtido acima do ponto de saturação das fibras. É o resultado de uma complexa combinação dos elementos constituintes da madeira e das diferenças na estrutura anatômica e na quantidade de substâncias extrativas (KOLLMANN e COTÊ 1968; PANSIN e DE ZEEUW 1970, USDA 1974; KLOCK, 1989; SHIMOYAMA, 1990; TSOUMIS, 1991; BURGER; RICHTER, 1991; MUÑIZ, 1993; KLOCK, 2000; GARCIA; LOPES, 2002; SHIMOYAMA, 2005; RIGATTO, 2007).

Em relação às propriedades mecânicas, é o parâmetro mais importante para avaliar a resistência da madeira (ROCHA; PAULA; SIQUEIRA, 1988; KLOCK, 1989; MUNIZ, 1993). Shimoyama (2005) menciona que em relação à madeira estrutural, a massa específica se relaciona diretamente às propriedades de resistência, tanto da madeira verde, quanto seca. Iwakiri (1982) complementa afirmando que as propriedades de resistência têm seus valores aumentados com o incremento da massa específica, sendo que esta relação é mais acentuada para madeiras secas do que para madeiras verdes.

Kollmann e Cotê (1968) observaram que o Módulo de Ruptura, o Módulo de Elasticidade, a resistência a compressão paralela e o cisalhamento são linearmente relacionados com a massa específica.

Koch (1972) desenvolveu regressões lineares relacionando cinco propriedades mecânicas da madeira verde, isenta de defeitos, com a massa específica. Os coeficientes de correlação variaram de 0,38 a 0,87.

A respeito da variabilidade da massa específica, inúmeros são os fatores de influência. Segundo Rigatto (2007), alguns deles são: o local de origem, espaçamento, idade, procedência, espécies, posição no tronco. Higa *et al* (1973), ao estudar espécies do gênero *Pinus* no sul dos Estados Unidos, relatou que a massa específica é influenciada pela taxa de crescimento. Mendonça (1982) estudando diferentes idades de *Pinus elliottii* concluiu que a idade tem influência na

massa específica média da madeira, onde uma menor idade implica em uma menor percentagem de lenho tardio e, conseqüentemente, uma menor massa específica básica. Este mesmo autor concluiu também que, a massa específica básica decresce da base para o ápice da árvore, independente de idade, parecendo ser relacionado principalmente à percentagem de lenho tardio, que diminuiu significativamente nessa direção.

Das informações disponíveis na literatura conclui-se que, para as espécies do gênero *Pinus*, esta variação é a mais comum.

#### 4.6.2 Espécie

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura interna. Esta variabilidade ocorre em função das dimensões e da diferente localização dos componentes ao longo do fuste. Se dentro de um único indivíduo ocorrem estas variações, grandes variações ocorrem também entre espécies, devido principalmente as diferenças estruturais e aos elementos constituintes. Segundo Tsoumis (1991), as diferenças estruturais podem ser resumidas no arranjo dos tecidos, dimensões de lume das células e espessura das paredes celulares. Em função destas diferenças, a massa específica, conseqüentemente também é distinta.

Como exemplo pode-se citar valores obtidos por Trianoski, Matos e Prata (2008), em estudo da variação da massa específica ao longo do fuste para diferentes espécies do gênero *Pinus* em condições de crescimento semelhantes.

TABELA 1 – VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE

<b>Espécie</b>	<b>ME<sub>básica</sub> (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<i>P. tecunumanii</i>	489
<i>P. oocarpa</i>	481
<i>P. taeda</i> (testemunha)	471
<i>P. maximinoi</i>	451
<i>P. caribaea bahamensis</i>	429
<i>P. caribaea hondurensis</i>	424
<i>P. caribaea caribaea</i>	398
<i>P. chiapensis</i>	395

Fonte: Trianoski, Matos e Prata (2008)

Visto que diferentes espécies possuem massas específicas diferentes, a resistência da madeira consequentemente tenderá a apresentar valores distintos. Além disso, deve-se considerar também que uma única espécie pode apresentar propriedades diferentes, caracterizadas em função do ambiente e condições de desenvolvimento de determinado local ou em função de procedências.

#### 4.6.3 Idade

A natureza das células é fortemente dependente da idade no tecido cambial (KLOCK, 2002). Desta forma, a variação das propriedades da madeira em função da idade deve ser levada em consideração para os estudos de qualidade. Geralmente quanto maior a idade maior serão as propriedades da madeira, até a estabilização. Esta relação pode ser justificada em função de que rotações curtas apresentam indivíduos com grande percentual de madeira juvenil, onde esta madeira apresenta-se como mais instável e propriedades inferiores a da madeira adulta.

Em estudo conduzido por Oliveira *et al* (2006), para avaliar a influência da idade nas propriedades da madeira, observou-se que a idade influencia, significativamente as propriedades da madeira. Segundo este mesmo autor a madeira de *P. taeda* de 20 anos de idade é comparável à de 13, mas ambas são, mais pesadas e mais resistentes, tanto à compressão quanto à flexão, do que a madeira de 9 anos de idade. Verifica-se, desta forma, uma tendência de estabilização das propriedades da madeira dessa espécie a partir dos 13 anos de idade, embora ocorram incrementos cada vez menores.

#### 4.6.4 Teor de Umidade

Uma árvore recém derrubada contém um alto teor de umidade. Esta umidade provém da seiva que enche os poros e as paredes das células. Verifica-se que em algumas madeiras pode ocorrer teor de umidade relativamente baixo como de 30%, enquanto que em outras o teor de umidade pode chegar a 200% ou mais.

Esta variação pode não somente ocorrer entre espécies, mas também dentro da própria árvore e variando sua proporção em relação à densidade das espécies e as condições climáticas do local onde se desenvolve.

Sabe-se que a umidade exerce grande influência sobre as propriedades mecânicas da madeira (BARRET e LAU, 1991). De acordo com Longsdon (2002), com o aumento do teor de umidade da madeira observa-se uma diminuição em sua resistência, e esta diminuição de resistência é mais sensível para baixos teores de umidade e praticamente desprezível para elevados teores de umidade. Diante deste fato, para se comparar a resistência de duas espécies, é necessário estabelecer um teor de umidade de referência, pois uma espécie de menor resistência, com baixo teor de umidade pode apresentar maior resistência que uma espécie sabidamente mais resistente, porém com elevado teor de umidade. Stamm (1964) justifica a diminuição da resistência com o aumento do teor de umidade até o PSF devido ao efeito de contração da madeira, pois ao se remover a umidade, as unidades estruturais se aproximam, aumentando significativamente a quantidade de ligações eletrostáticas entre si. Além do PSF, mudanças no conteúdo de umidade não apresentam efeitos aparentes sobre a resistência da madeira.

Frequentemente são obtidos valores de resistência diferente do valor de teor de umidade pré-estabelecido. Desta forma, para se facilitar e estabelecer uma comparação adequada USDA (1995), Kollmann e Coté (1968), Gurfinkel (1972); Tsoumis (1991); Sales (1993); Longsdon (2002) mencionam que os valores devem ser ajustados para umidade constante (12%) de acordo com procedimento padrões ou valores normatizados. Fusco (1993), complementa que para a correção a 12% de umidade despreza-se a influência da temperatura na faixa de 10 a 50°C. De acordo com a USDA (1955), a correção do teor de umidade deve ser efetuada baseada nos seguintes valores:

**TABELA 2 – VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE**

<b>Ensaio</b>	<b>% a cada 1% de variação no teor de umidade (%)</b>
Flexão Estática	
Carga no Limite proporcional	5
Modulo de ruptura	4
Módulo de Elasticidade	2
Carga máxima	0,5
Compressão paralela	
Carga no Limite proporcional	5
Carga máxima	6
Cisalhamento tangencial	3
Dureza	
Tangencial	4
Radial	2,5

Fonte: USDA (1955)

Klock (2000) menciona que, embora a mudança na resistência com a alteração no teor de umidade siga uma tendência similar para a maioria das propriedades de resistência, a magnitude varia de uma para outra. Alguns exemplos são relatados por Gehards (1982), onde este autor conclui que o efeito da umidade é menor sobre as propriedades paralelas do módulo de elasticidade e resistência à tração do que sobre a resistência a compressão, enquanto que o módulo de rigidez a resistência ao cisalhamento tangencial mostram comportamentos semelhantes entre si, e o mesmo ocorrendo com a compressão perpendicular e a resistência a flexão estática. Lucas Filho (1997) confirma que as propriedades mecânicas não são igualmente afetadas pela variação do teor de umidade, sendo que a resistência a flexão estática e a compressão aumentam grandemente com o decréscimo do teor de umidade, outras, como a rigidez, varia moderadamente.

Kollmann e Cotê (1968) discutindo trabalhos de diversos autores relataram o efeito e a magnitude do teor de umidade sobre duas propriedades. Para a tração, tais autores mencionaram um ponto de máxima resistência entre 8 e 10%, fato também observado para resistência ao cisalhamento tangencial, mas com menor intensidade.

Desta forma, a umidade pode ser dita que é o fator ambiental que mais afeta a madeira, já que é um material altamente higroscópico, e que madeiras estruturais são comumente usadas com alto teor de umidade, pois nem sempre se dispõe de material com a umidade dentro das especificações. Bendsten (1978) através de

pesquisas correlatas a variação de teor de umidade encontrou um acréscimo no valor de resistência quando o teor de umidade passou de níveis de madeira verde para umidade de equilíbrio de 15% da ordem de 75% para compressão paralela as fibras, 35% para flexão estática e 13% para cisalhamento.

De acordo com Lucas Filho (1997), estudos conduzidos por McLain *et al* (1984), para avaliar o efeito do teor de umidade na flexão de peças estruturais de *Pinus spp* demonstraram os seguintes resultados experimentais: um incremento médio de 11% para o MOR, quando a madeira passou da condição verde para 20% de umidade e 35% quando passou da condição verde para 10% de umidade. Para o MOE, os acréscimos médios foram de 5% de verde a 20%; 22% de verde a 15% e 25% de verde a 10%. Segundo estes autores a redução do teor de umidade abaixo de 15% não é justificada, pois o ganho de resistência neste caso é insignificante.

Kollmann (1959), afirma que além de a umidade afetar as propriedades de resistência da madeira, ela afeta seu grau de trabalhabilidade, reduzindo seu poder calorífico, o rendimento e a qualidade da celulose e propicia maior susceptibilidade ao ataque de fungos.

#### 4.6.5 Madeira juvenil

Algumas espécies apresentam crescimento acelerado, e em função disso, o volume de madeira juvenil é extremamente alto, compondo quase que exclusivamente o xilema.

Segundo Panshin e De Zeew (1970) a madeira juvenil é aquela formada nos primeiros anos, localizada próximo à medula e caracterizada pelo progressivo aumento nas dimensões, mudança das características e arranjo das células. Em relação à madeira adulta, esta possui células de tamanho quase que constante, estrutura anatômica desenvolvida e comportamento estável.

De acordo com Klock (2000), demarcação entre madeira juvenil e adulta apresenta certa complexidade, devido a mudança gradual das células que compõem o xilema. Consequentemente, a mudança nas características da madeira, também são gradativas. A formação da madeira juvenil ocorre nos primeiros anos e varia de acordo com a espécie e suas condições de crescimento.

As espécies do gênero *Pinus* possuem crescimento acelerado. Aproximadamente 48% dos povoamentos de *Pinus* apresentam idade entre 0 e 10 anos e 15% entre 11 e 15 anos e apenas 22,5% dos reflorestamentos desta espécie apresenta idade superior a 20 anos (Valor Florestal, 2004 citado por SHIMOYAMA, 2005).

Tsoumis (1991, p. 72), relata que o *P. taeda* com 15 anos possui aproximadamente 40% de madeira juvenil, e aos 40 anos esta mesma espécie apresenta aproximadamente 25% de madeira juvenil.

A idade como visto acima, influencia acentuadamente a proporção de madeira juvenil (CHIES, 2005). A TABELA 3 demonstra o percentual de madeira juvenil em função desta variável.

TABELA 3 - VARIAÇÃO DA PROPORÇÃO DE MADEIRA JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE DE *P. taeda*

Idade (anos)	Percentagem de Madeira Juvenil (%)
15	85
25	55
45	19

Fonte: Bendsten (1978)

A madeira juvenil apresenta características bastante distintas e limitações no seu uso. Em relação às propriedades físicas a característica mais marcante é a massa específica, que é bem menor na madeira juvenil e a tendência de grã espiralada. Apresenta menor percentual de lenho tardio e uma maior incidência de nós. A massa específica para espécies tropicais do gênero *Pinus* apresenta em média 12,6% menor. Para o *P. taeda* alguns autores encontraram uma diminuição de 23,07% (KLOCK, 2000). Bendsten (1978) classifica a massa específica da madeira juvenil de *Pinus* como baixa, comparada a madeira adulta, com valores de 360 a 680 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Em relação às propriedades mecânicas, a madeira juvenil caracteriza-se por apresentar menores valores de resistência. Peças estruturais que contêm uma

determinada quantidade de madeira juvenil apresentam qualidades estruturais inferiores.

Klock (1989) em estudo com madeira juvenil de espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, de procedências distintas, obteve através do ensaio de flexão estática, valores médios de MOR e MOE cerca de 40 a 100% menores. Em relação a madeira adulta as diferenças foram ainda maiores, obtendo-se valores médios de MOR e MOE em compressão paralela, de 33 a 120% menores.

#### 4.6.6 Largura e Uniformidade dos anéis de crescimento

Algumas características da madeira são utilizadas como indicadores de suas propriedades. Dentro destas características pode-se citar a configuração dos anéis de crescimento.

Na maioria das coníferas a largura dos anéis de crescimento é facilmente identificável em corte transversal e pode ser indicadora do comportamento da madeira. Os anéis são constituídos de lenho inicial, formado no período de maior atividade vegetativa da planta e lenho tardio, formado no período de menor atividade vegetativa.

Dependendo da velocidade de crescimento das árvores, as transições entre os dois tipos de lenho torna-se mais acentuada, conferindo propriedades de resistência diferenciadas à madeira formada. Práticas silviculturais provocam alterações na velocidade de crescimento, alterando a transição na largura do anel de crescimento e conseqüentemente, nas propriedades de resistência da madeira formada. (MATOS, 1997).

Segundo Klock (2000), de forma geral, folhosas com porosidade em anel e coníferas de rápido crescimento que crescem em sítios normais, a correlação entre as propriedades mecânicas e a largura dos anéis de crescimento tem validade, onde os valores fornecidos só podem ser considerados superficialmente. Outros autores recomendam utilizar como parâmetro para julgamento da qualidade da madeira de coníferas de rápido crescimento o uso bem como a regularidade e largura dos anéis.



#### 4.6.7 Percentual de lenhos

A proporção entre lenhos inicial e tardio é uma variável frequentemente analisada e discutida em estudos que buscam caracterizar a qualidade da madeira. A proporção destes tipos de lenhos é influenciada pelo ritmo de crescimento das árvores e também pela idade da árvore.

Nos primeiros anos, o ritmo de crescimento é extremamente elevado devido à intensa atividade fisiológica, formando-se maior percentual de lenho inicial. O lenho inicial constitui-se de células com paredes finas, diâmetro maior e comprimento relativamente menor do que as do lenho tardio. Quando a árvore tende à maturidade, há um aumento relativo no percentual de lenho tardio.

Segundo Klock (2000), a variação da porcentagem de lenho tardio é coincidente com a da massa específica, tanto no sentido transversal como no sentido longitudinal da árvore, diminui com a altura e aumenta no sentido medula casca. Em espécies de *Pinus* esta relação é mais acentuada.

A proporção de lenho tardio segundo Moreschi (1975), é uma variável que apresenta significativa afinidade com as propriedades de resistência. Este mesmo autor citando Vorreiter (1949) relata que o lenho tardio de *Pinus* atingiu uma resistência de 2510 kgf/cm<sup>2</sup> (246 MPa) em ensaio de flexão estática, aproximadamente 4,5 vezes maior do que o lenho inicial.

Os percentuais de lenho inicial e tardio são também propriedades importantes na produção de celulose e papel, na obtenção de produtos como laminados, componentes de portas e janelas, etc. Para serrados e laminados a relação lenho inicial/lenho tardio pode apresentar problemas na resistência mecânica, na dureza do material e, inclusive problemas durante a secagem (SHIMOYAMA, 2005).

#### 4.6.8 Grã

A grã da madeira pode ser definida como a orientação ou desvio das fibras ou tecidos componentes em relação ao eixo longitudinal da árvore. Esta propriedade tem principal efeito sobre o valor e utilidade da madeira, sendo especialmente

importante para produtos sólidos. Segundo Rocha; Paula; Siqueira (1988), pode acarretar resultados inaceitáveis.

De acordo com Kollmann e Cotê (1968), a inclinação excessiva da grã é indesejável, pelo fato de tornar a madeira mais frágil e aumentar a tendência ao empenamento com a variação do teor de umidade.

Em alguns casos a manufatura de determinados produtos é prejudicada ou até impossibilitada. Em produtos estruturais, o efeito da inclinação da grã é mais acentuado em peças estruturais do que em peças de dimensões menores. A inclinação da grã acarreta perda de resistência, onde a resistência a tração é mais afetada, seguida pela flexão e compressão (KLOCK, 2000). Além disso a inclinação da grã pode prejudicar a aparência dos produtos acabados.

Em coníferas a grã espiralada é mais comum e, freqüentemente, inclina-se à esquerda em relação ao eixo axial das árvores. É comum ocorrer nas espécies do gênero *Pinus*, porém, em algumas, como o *P. taeda* tem pouca importância (RIGATTO, 2007).

De acordo com a literatura um ângulo de grã de 7° é o limite aceitável para a qualidade de produtos sólidos. Freqüentemente, algumas coníferas excedem esse valor, como por exemplo, o *P. caribaea* var. *hondurensis* que excede este valor em 5°. Alguns pesquisadores salientam que através do melhoramento genético pode-se reduzir os impactos do ângulo de grã em produtos serrados, trazendo, inclusive, ganhos econômicos. (SHIMOYAMA, 2005).

#### 4.6.9 Nodosidade

O nó é definido como uma porção de galho incorporado no tronco da árvore e, consiste basicamente de fibras de madeira de compressão, as quais são morfológicamente diferentes das fibras de madeira normal. A madeira que compreende a região de nós apresenta desvios acentuados de suas células, formando alto ângulo de grã, irregularidades nos anéis de crescimento, além de descontinuidade entre o nó e a madeira circundante. (BURGUER, 1991)

Segundo Pfeil (2003), a presença de nós produz uma concentração de tensões e reduz a resistência. Esta redução de resistência é maior na tração do que

na compressão. A influência dos nós na resistência depende do percentual de uma seção ocupada e da posição relativa dos mesmos. Kollmann e Cotê (1968) complementam que em vigas de madeira sólida os nós reduzem o valor do módulo de ruptura das vigas submetidas à flexão, principalmente se eles estiverem localizados na área tracionada, próximo à seção transversal crítica.

A presença dos nós determina a qualidade da madeira, principalmente na obtenção de produtos sólidos. Na indústria de celulose/pastas estes defeitos são, às vezes, menos importantes, sendo separados no início do processo ou mesmo desagregados nos processos químicos (SHIMOYAMA 2005).

Os nós também apresentam baixo teor de umidade, com uma densidade básica duas vezes maior àquela de madeira normal e alto teor de extrativos, influenciam também as características superficiais da madeira.

Segundo Chies (2005), as espécies do gênero *Pinus* têm alta propensão para produzir galhos, resultando na produção de madeira com muitos nós, porém existem poucos estudos que quantificam esta variável.

Os nós estão relacionados a fatores genéticos, variando entre espécies, podendo ser controlado por práticas silviculturais, tais como, espaçamentos e poda.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

As espécies utilizadas nesta pesquisa fazem parte do Programa CAMCORE e do C.C.G.M.P.T., e são provenientes de plantios florestais experimentais localizados em Ventania – PR e Itararé – SP, de propriedade da Empresa Valor Florestal. Foram coletadas 8 espécies do gênero *Pinus*, as quais são apresentadas na TABELA 4, juntamente com o local de origem e idade, para serem submetidas a ensaios tecnológicos, com o propósito de avaliar a potencialidade e uso para produtos de maior valor agregado.

TABELA 4 - ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS ESTUDADAS

Espécie	Idade	Local de coleta
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	17 anos	Itararé - SP
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	17 anos	Itararé - SP
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus chiapensis</i>	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus maximinoi</i>	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus oocarpa</i>	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus taeda</i> (testemunha)	18 anos	Ventania - PR
<i>Pinus tecunumanii</i>	18 anos	Ventania - PR

### 5.2 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS E AMOSTRAGEM DO MATERIAL

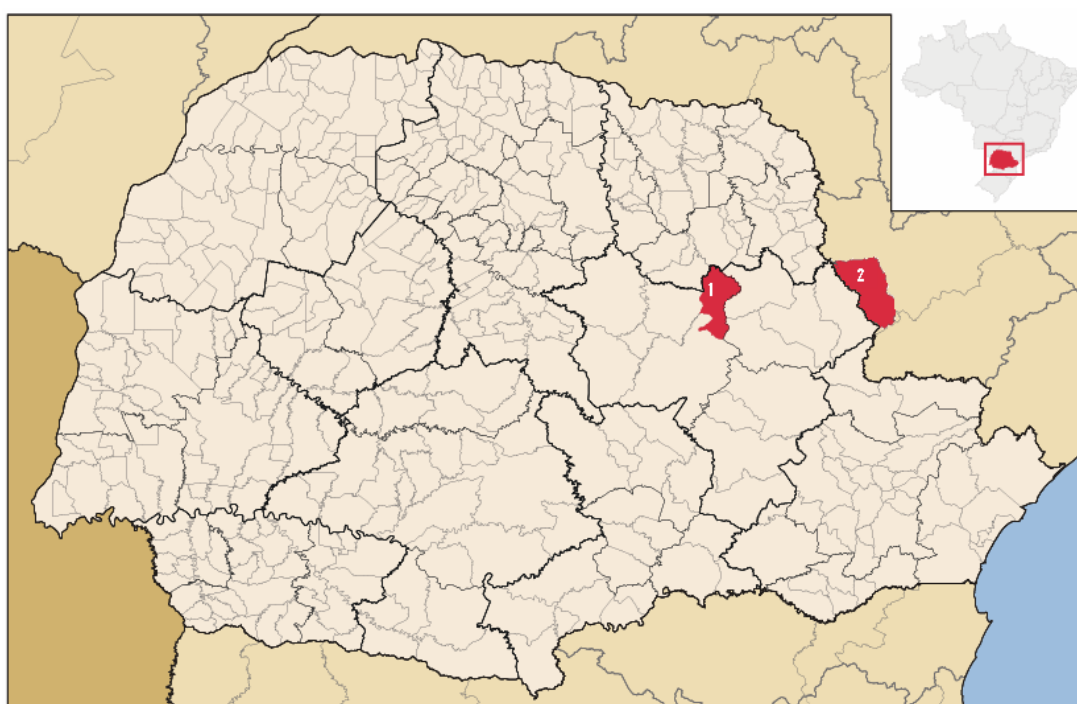
#### 5.2.1 Descrição do local

O local de coleta das espécies *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* localizada no Município de Itararé – SP situa-se a 24°06'33"S e 49°19'57"W com altitude de 750 metros. O clima da região é subtropical, com temperatura média anual de 25°C. No inverno, porém, as temperaturas baixam muito e os termômetros marcam em média 10°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1300 mm. Já o local de coleta das demais espécies, *P. caribaea*

var. *hondurensis*, *P. chiapensis*, *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. taeda* e *P. tecunumani*, localizada em Ventania – PR situa-se a uma latitude de 24°14'45''S e a uma longitude 50°14'34''W, estando a uma altitude de 990 metros. O clima é subtropical úmido mesotérmico e a temperatura média é de 22°C, e em anos com ocorrência de geadas freqüentes e severas é inferior a 18°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1400 mm.

A FIGURA 2 ilustra a localização geográfica das regiões de coleta do material.

FIGURA 2 – LOCAL DE COLETA DO MATERIAL DE ESTUDO



1 – Ventania - PR e 2 – Itararé – SP  
Fonte: Wikimédia Commons (2008)

### 5.2.2 Amostragem do material em campo

A amostragem do material seguiu a Norma COPANT, sendo coletadas 5 árvores medianas de cada espécie. De cada árvore selecionada foram coletados dados de CAP e altura total. Após a derrubada, as árvores foram seccionadas em comprimentos equivalentes a 0% (base da árvore), 25%, 50%, 75% e 100% do valor de sua altura comercial, obtendo-se desta forma, 4 toras ao longo do fuste. As toras foram devidamente identificadas e transportadas até a serraria para o desdobro. Os

pranchões obtidos foram conduzidos posteriormente para o Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR, para dar continuidade à pesquisa.

A FIGURA 3 ilustra a área e uma das etapas de coleta do material.

FIGURA 3 – ÁREAS DE COLETA DO MATERIAL



Fonte: Matos (2008)



Fonte: Matos (2007)

As características dendrométricas referentes às espécies encontram-se sumarizadas na TABELA 5.

TABELA 5 – DAP MÉDIO, ALTURA TOTAL MÉDIA E IDADE DAS ÁRVORES COLETADAS

Espécie	Nº de Árvores	Idade (anos)	DAP Médio* (cm)	HT Média** (m)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	5	17	37	27,0
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	5	17	37	26,3
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	5	18	42	25,1
<i>Pinus chiapensis</i>	5	18	46	29,8
<i>Pinus maximinoi</i>	5	18	47	27,6
<i>Pinus oocarpa</i>	5	18	41	26,7
<i>Pinus taeda</i>	5	18	32	18,4
<i>Pinus tecunumanii</i>	5	18	46	25,9

\* DAP: Diâmetro na altura do peito

\*\* Ht: Altura total média

### 5.2.3 Amostragem e corte do material em laboratório

A pesquisa teve prosseguimento com corte do material para ensaio em estado verde, e pré-corte dos corpos-de-prova para ensaio a 12% para maior perda da taxa de umidade. De cada árvore foram selecionadas duas toras observando sempre a posição para obter amostras de todo o fuste. O esquema de retirada dos corpos-de-prova pode ser melhor visualizado na FIGURA 4.

FIGURA 4 – AMOSTRAGEM E CORTE DE MATERIAL



Fonte: Prata (2007)



Fonte: Trianoski (2008)

## 5.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

### 5.3.1 Determinação da Massa Específica Aparente e Massa Específica Básica

Para a determinação da massa específica básica e massa específica aparente (verde e 12%) foram utilizados os próprios corpo de prova ensaiados. A massa específica aparente foi obtida através de método estereométrico com medições das dimensões e do peso do corpo-de-prova no referido estado. Para a determinação da massa específica básica coletou-se adicionalmente o peso a 0% de umidade (pós-ensaio).

A massa específica aparente e básica foi calculada utilizando a seguinte relação:

$$\rho_{aparente / básica} = \frac{P_{aparente 0\%}}{V_{aparente}}$$

Onde,

$\rho_{aparente/básica}$  : Massa específica aparente/básica (Kg/m<sup>3</sup>)

$P_{aparente0\%}$  : Peso aparente e peso seco em estufa a  $103 \pm 2^\circ \text{C}$  (kg)

$V_{aparente}$  : Volume aparente (m<sup>3</sup>)

Duas das etapas do processo de determinação da massa específica podem ser observadas na FIGURA 5.

FIGURA 5 – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA



Fonte: Trianoski (2008)



Fonte: Trianoski (2008)

### 5.3.2 Determinação das Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas da madeira foram realizadas em Máquinas Universais de Ensaio com capacidades de 10 tf e 30 tf, com acessórios para os diferentes tipos de testes, e outros equipamentos para a determinação das variáveis envolvidas no procedimento.

Os testes foram desenvolvidos em duas condições: em amostras no estado verde ou saturado e em amostras climatizadas a 12%, sendo posteriormente determinado o teor de umidade real. A FIGURA 6 apresenta o ensaio imediato das amostras no estado verde e o período de climatização.



FIGURA 6 – ENSAIO VERDE E CLIMATIZAÇÃO DE MATERIAL



Fonte: Trianoski (2008)



Fonte: Trianoski (2008)

As Normas utilizadas para a caracterização estão descritas abaixo:

Flexão estática: COPANT 555/1972

Compressão Paralela às fibras: COPANT 464/1972

Cisalhamento: COPANT 463/1972

Dureza: COPANT 465/1972

#### 5.3.2.1 Flexão Estática

O ensaio de flexão estática consistiu em submeter corpos-de-prova a uma carga concentrada até a ruptura, para obtenção dos Módulos de Elasticidade e Módulo de Ruptura. Os corpos-de-prova foram confeccionados com dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 (cm). A velocidade de ensaio adotada segundo esta norma foi de 1,00 mm/min.

A resistência à flexão foi quantificada através das seguintes equações:

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P_{\max} \times L}{b \times h^2}$$

$$MOE = \frac{1}{4} \times \frac{P_{LP} \times L^3}{d_{LP} \times b \times h^3}$$

Onde,

*MOE*: Módulo de Elasticidade (MPa)

*MOR*: Módulo de Ruptura (MPa)

*P<sub>LP</sub>*: Carga no Limite proporcional (N)

*d<sub>LP</sub>*: deformação no limite proporcional (mm)

*P<sub>max</sub>*: Carga máxima (N)

*L*: Vão (mm)

*b*: Largura da seção transversal do corpo-de-prova (mm)

*h*: Altura da seção transversal do corpo-de-prova (mm)

Na FIGURA 7 pode ser observado o desenvolvimento do referido ensaio:

FIGURA 7 – ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA



Fonte: Trianoski (2008)



Fonte: Trianoski (2008)

### 5.3.2.2 Compressão Paralela às Fibras

A realização do ensaio de compressão paralela às fibras ocorreu através da aplicação de carga em seção transversal até a ruptura do material. Os corpos-de-

prova foram confeccionados com dimensões de 5,0 x 5,0 x 20,0 (cm). A carga foi aplicada continuamente, a uma velocidade de 0,6 mm/min até a ruptura. O Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura foi obtido através das seguintes fórmulas:

$$MOE = \frac{P_{LP} \times L^3}{A \times d_{LP}}$$

$$MOR = \frac{P_{max} \times L}{A}$$

Onde,

*MOE*: Módulo de Elasticidade (MPa)

*MOR*: Módulo de Ruptura (MPa)

*P<sub>LP</sub>*: Carga no Limite proporcional (N)

*d<sub>LP</sub>*: deformação no limite proporcional (mm)

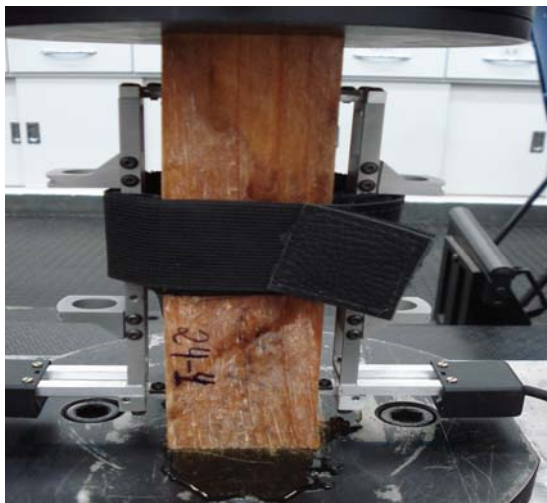
*P<sub>max</sub>*: Carga máxima (N)

*L*: Vão (mm)

*A*: área de seção transversal (mm<sup>2</sup>)

Nas FIGURA 8 pode ser observado o aspectos correlatos ao ensaio de compressão paralela.

FIGURA 8 – ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS



Fonte: Trianoski (2008)



Fonte: Trianoski (2008)

### 5.3.2.3 Cisalhamento

O ensaio de cisalhamento foi realizado tanto no sentido tangencial quanto no sentido radial. Os corpos-de-prova possuíam seção transversal de 5,0 x 5,0, altura de 6,5 e largura da área de aplicação de carga de 2,0 (cm). A velocidade utilizada foi de 0,6 mm/min. A resistência ao esforço de cisalhamento foi determinada através da seguinte fórmula:

$$\sigma_{\text{cisalhamento}} = \frac{P}{A}$$

Onde,

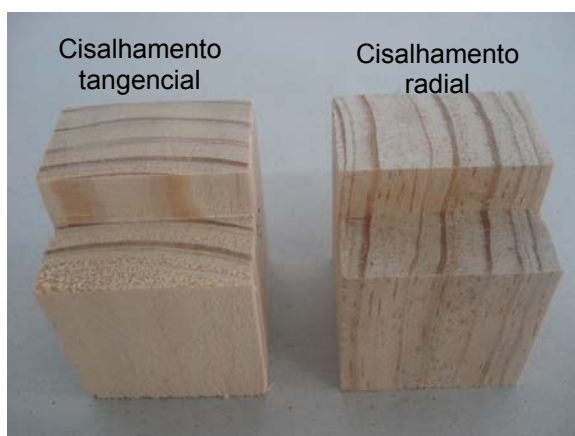
$\sigma_{\text{cisalhamento}}$  = Tensão de cisalhamento (MPa)

$P$ : Carga máxima (N)

$A$ : Área de seção sujeita ao esforço de cisalhamento (mm<sup>2</sup>)

Na FIGURA 9 pode ser observado o sentido dos corpos-de-prova, bem como, a execução do ensaio.

FIGURA 9 – ENSAIO DE CISALHAMENTO



Fonte: Trianoski (2008)



Fonte: Trianoski (2008)

#### 5.3.2.4 Dureza

O ensaio de Dureza foi realizado em corpos-de-prova com dimensões de 5,0 x 5,0 x 15,0 (cm), sendo aplicadas cargas em cada uma das faces tangencial, radial e longitudinal. A resistência foi medida em N após a penetrabilidade de uma semi esfera com velocidade constante de 0,6 mm/min.

Nas FIGURA 10 é apresentado a obtenção desta propriedade.

FIGURA 10 – ENSAIO DE DUREZA



Fonte: Trianoski (2008)



Fonte: Trianoski (2008)

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 TEOR DE UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA

O condicionamento da madeira é fundamental para determinação das suas propriedades. Além disso, é extremamente importante quando se busca avaliar a influência do teor de umidade nas propriedades. Desta forma, foi determinado o teor de umidade das espécies estudadas nas duas condições propostas.

Os resultados obtidos com este ensaio encontram-se na TABELA 6.

TABELA 6 – TEOR DE UMIDADE MÉDIO OBTIDO DOS CORPOS DE PROVA DOS ENSAIOS DE *Pinus*

Ensaio	Flexão estática		Compressão		Cisalhamento		Dureza	
Espécie	Verde (%)	UE – 12% (%)	Verde (%)	UE -12% (%)	Verde (%)	UE – 12% (%)	Verde (%)	UE -12% (%)
<i>P. c. bahamensis</i>	136,42	12,47	62,32	14,81	135,68	15,08	121,68	14,30
<i>P. c. caribaea</i>	119,60	13,07	70,53	14,80	156,11	14,55	131,51	14,65
<i>P. c. hondurensis</i>	99,95	13,58	135,58	14,45	68,97	14,74	108,60	15,16
<i>P. chiapensis</i>	98,55	12,54	111,32	14,09	45,65	13,39	84,28	14,70
<i>P. maximinoi</i>	129,49	13,20	118,02	14,94	54,94	14,83	109,33	15,46
<i>P. oocarpa</i>	123,47	13,38	117,01	14,94	45,22	14,42	85,61	15,23
<i>P. taeda</i> (testemunha)	143,18	13,33	107,35	14,85	64,49	15,25	90,78	15,62
<i>P. tecunumanii</i>	109,32	13,36	92,23	14,40	38,09	14,61	71,96	15,15

De acordo com a TABELA 6 pode-se verificar que para os ensaios em estado verde o teor de umidade é elevado. Segundo Stamm (1964), acima do Ponto de Saturação das Fibras (~ 30%), não ocorrem alterações dimensionais na estrutura da madeira, somente aumento de peso e umidade, e as mudanças no teor de umidade não apresentam efeitos aparentes sobre a resistência da madeira. Desta forma, as condições em que os referidos ensaios foram desenvolvidos são satisfatórias. No entanto, para os ensaios após obtenção da umidade de equilíbrio (12%), ou seja, de

acordo com requisitos prescritos pela norma a condição não foi atendida satisfatoriamente. Em virtude da diferença estatística entre o teor de umidade das espécies estudadas, para se eliminar o efeito desta variação e conseqüentemente obter resultados em mesmas condições para posterior comparação, o teor de umidade de todas as amostras foi ajustado de acordo com a equação proposta pela USDA (1955).

## 6.2 MASSA ESPECÍFICA

Os resultados médios gerais obtidos nas determinações da massa específica verde, aparente e básica, a partir dos corpos de prova de todos os ensaios, são apresentados na TABELA 7. Resultados desta propriedade também são expostos e analisados especificamente em cada ensaio no decorrer do trabalho.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA OBTIDA DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIOS MECÂNICOS DE PINUS TROPICAIS

<b>Espécie</b>	<b>ME verde (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>ME aparente (12%) (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>ME básica (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<i>P. c. bahamensis</i>	869	484	412
<i>P. c. caribaea</i>	838	433	374
<i>P. c. hondurensis</i>	850	500	431
<i>P. chiapensis</i>	692	440	377
<i>P. maximinoi</i>	838	530	443
<i>P. oocarpa</i>	839	540	445
<i>P. taeda</i> (testemunha)	831	516	430
<i>P. tecunumanii</i>	829	561	476

Os resultados médios determinados para a massa específica pelas relações entre massa e volume saturados, massa e volume aparente, e massa seca e volumes saturado ou aparente mostraram valores decrescentes na ordem

apresentada. Este resultado pode ser justificado pelo fato de que cálculos que envolvem massa aparente ou saturada contém maior quantidade de água, influenciando consideravelmente no seu valor final.

De acordo os resultados obtidos pode ser observado que o *P. tecunumanii* apresentou maior média de massa específica aparente e básica. Tendo em vista que para espécies de maior massa específica corresponde quase sempre maior resistência mecânica, espera-se que esta espécie apresente maiores valores médios de propriedades mecânicas. Espera-se também que as espécies *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. chiapensis* apresentem baixos valores para as propriedades mecânicas.

Em relação aos diferentes valores de massa específica obtidos, pode-se mencionar que esta variabilidade ocorre em função das diferenças estruturais, que se resume no arranjo dos tecidos e nas dimensões dos elementos celulares, e também dos elementos constituintes, visto se avaliar diferentes espécies.

De acordo com a literatura, entre as espécies de *P. caribaea*, a variedade *bahamensis* tende a apresentar maior massa específica. Esta relação foi evidenciada por Trianoski, Matos e Prata (2008), que em estudo preliminar de massa específica ao longo do fuste com estas variedades obtiveram maior massa específica para o *P. caribaea* var. *bahamensis* do que para as outras duas variedades. Embora os valores médios obtidos sejam muito próximos, este fato não foi evidenciado neste estudo, onde o *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentou maior massa específica média que o *P. caribaea* var. *bahamensis* e conseqüentemente que o *P. caribaea* var. *caribaea*, sendo 431; 412 e 374 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Segundo Francis (2008), para as variedades *caribaea* e *hondurensis* provenientes de florestas de rápido crescimento, a massa específica varia de 350 a 410 kg/m<sup>3</sup>, onde os valores obtidos neste estudo foram condizentes com as informações relatadas por este autor. Em relação aos valores obtidos por Klock (1989), para o *P. caribaea* var. *honduresis* com 18 anos (450 kg/m<sup>3</sup>), esta diferença pode ser explicada pelo local de crescimento, condições fitogeográficas, bem como pela procedência.

Em relação ao *P. chiapensis*, poucas informações existem sobre esta espécie, onde Upton (2003) afirma que entre as espécies de *Pinus* é a que apresenta uma das menores massas específicas. De acordo com os resultados



obtidos na TABELA 7, é possível afirmar que esta foi uma das espécies de *Pinus* que apresentou menor massa específica média.

Quanto ao *P. maximinoi*, a massa específica obtida neste estudo encontra-se condizente com resultados obtidos por Klock (2000), que avaliando experimentos com 11 anos localizados também na mesma área de estudo, obteve massa específica variando de 370 a 460 kg/m<sup>3</sup>. Para o *P. oocarpa*, os resultados obtidos neste estudo assemelham-se aos resultados obtidos por Klock (1989), que estudando indivíduos de 14 e 18 anos localizados em São Paulo obteve massa específica de 440 kg/m<sup>3</sup> para as duas idades, e aos resultados obtidos por Mendes *et al* (2001), que encontrou uma massa específica de 450 kg/m<sup>3</sup> para árvores de 14 anos na região de Lavras.

O resultado obtido para a massa específica do *P. taeda* pode ser comparado aos resultados encontrados por Chies (2005), que avaliando a qualidade da madeira desta espécie obteve massa específica de 410 a 430 kg/m<sup>3</sup> para árvores com 21 anos. Muitos outros autores estudando esta mesma espécie encontraram resultados semelhantes e distintos, onde estas diferenças são justificadas pelas condições de crescimento, procedências, idade, entre outros fatores.

Em relação ao *P. tecunumanii*, segundo a literatura, a madeira produzida por esta espécie apresenta massa específica mais elevada se comparada às outras espécies do gênero *Pinus*. Este fato foi evidenciado durante o desenvolvimento deste estudo, onde esta foi a espécie que apresentou maior valor médio para esta propriedade. O valor encontrado é similar aos resultados de Moura, Dvorak e Nogueira (1998), e Moura *et al* (2004), que obtiveram massa específica de 460 kg/m<sup>3</sup> para árvores de 17 anos coletadas no Distrito Federal.

#### 6.2.1 Correlações entre Massa Específica Aparente e Massa Específica Básica

As relações entre massa específica aparente obtidas após climatização das amostras, com a massa específica básica é apresentada a seguir. Pode-se notar a alta correlação entre as propriedades para as espécies estudadas. As equações obtidas para estimar a massa específica aparente a 12% podem ser de grande utilidade, devido ao fato de que a massa específica básica é determinada de forma

mais rápida, dispensando o condicionamento da madeira, que requer condições ambientais controladas e elevado tempo para se atingir a condição especificada.

As equações lineares obtidas pelas regressões e os respectivos coeficientes de correlação são apresentados na TABELA 8.

TABELA 8 – EQUAÇÕES LINEARES E CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12%

Espécie	Equação	Correlação	Amostras
<i>P. c. bahamensis</i>	$ME_{12\%} = - 8,3952 + 1,1643 \times ME_b$	$r = 0,9965^*$	n= 233
<i>P. c. caribaea</i>	$ME_{12\%} = 6,4762 + 1,1255 \times ME_b$	$r = 0,9979^*$	n=185
<i>P. c. hondurensis</i>	$ME_{12\%} = - 5,8951 + 1,1584 \times ME_b$	$r = 0,9986^*$	n= 161
<i>P. chiapensis</i>	$ME_{12\%} = 2,0864 + 1,131 \times ME_b$	$r = 0,9955^*$	n= 210
<i>P. maximinoi</i>	$ME_{12\%} = - 39,1275 + 1,2317 \times ME_b$	$r = 0,9917^*$	n=184
<i>P. oocarpa</i>	$ME_{12\%} = 1,9261 + 1,1402 \times ME_b$	$r = 0,9981^*$	n= 149
<i>P. taeda</i> (testemunha)	$ME_{12\%} = - 1,9517 + 1,152 \times ME_b$	$r = 0,9984^*$	n=96
<i>P. tecunumanii</i>	$ME_{12\%} = - 5,3944 + 1,1543 \times ME_b$	$r = 0,9980^*$	n= 161

\* Significativo a 95% de probabilidade.

$ME_{12\%}$  = Massa Específica Aparente a 12%.

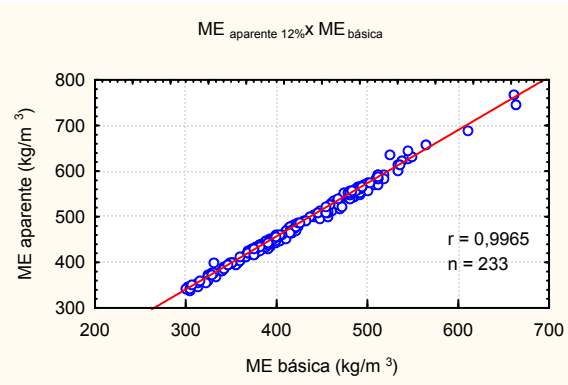
$ME_b$  = Massa Específica Básica

De acordo com a TABELA 8, verifica-se a alta correlação entre as massas específicas relacionadas. A espécie que apresentou menor índice de correlação é o *P. maximinoi*, sendo justificado pela dispersão e ocorrência de valores extremos como pode ser observado no gráfico da referida espécie. As relações entre massa específica verde e massa específica básica, bem como, massa específica verde e massa específica aparente a 12% não apresentaram boas correlações, sendo explicado muito provavelmente, pelo fato da grande variação do teor de umidade das amostras (31% a 230%).

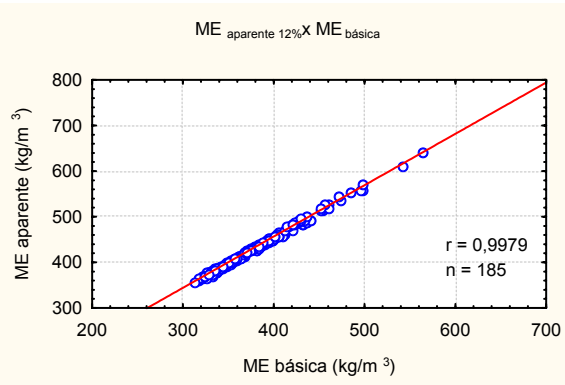
No GRÁFICO 2 são apresentadas as regressões lineares para cada espécie.

GRÁFICO 2 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12% E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

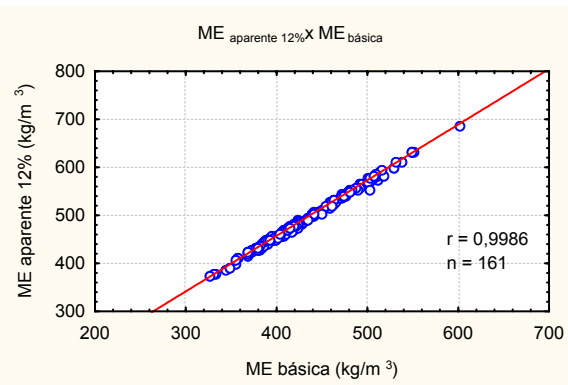
*Pinus caribaea* var. *bahamensis*



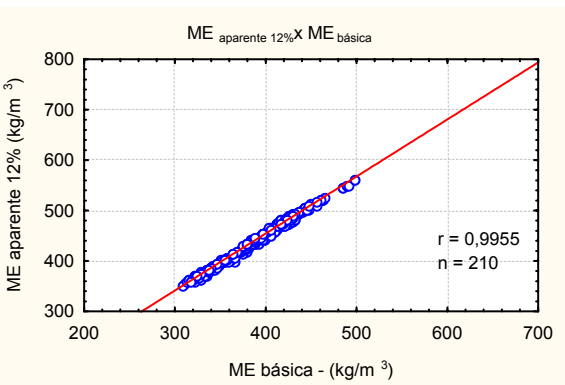
*Pinus caribaea* var. *caribaea*



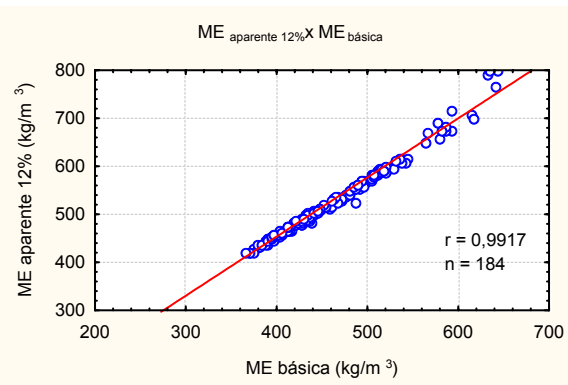
*Pinus caribaea* var. *hondurensis*



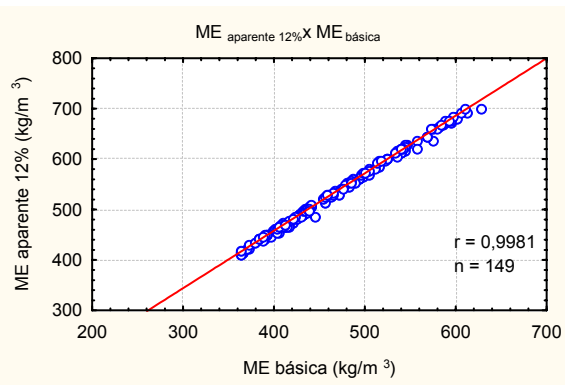
*Pinus chiapensis*



*Pinus maximinoi*

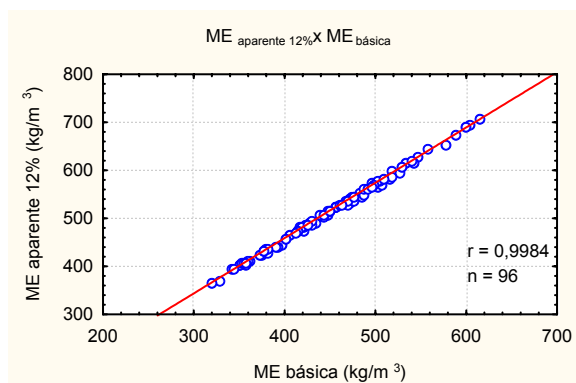


*Pinus oocarpa*

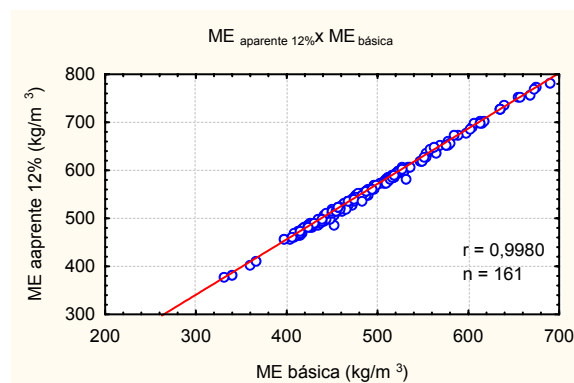


## Continuação GRÁFICO 2...

### *Pinus taeda*



### *Pinus tecunumanii*



## 6.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

### 6.3.1 Flexão estática

Os resultados médios obtidos para as espécies avaliadas no ensaio de flexão estática bem como a massa específica aparente a 12% e verde dos corpos de prova testados são apresentados na TABELA 9.

TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA PARA DIFERENTES ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )		MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Verde	UE -12%	Verde	UE -12%	Verde	UE -12%
<i>P. c. bahamensis</i>	890 b	476 cde	40 ab	63 abc	5.129 c	6.568 cd
<i>P. c. caribaea</i>	776 c	435 e	34 c	56 c	4.802 c	6.060 d
<i>P. c. hondurensis</i>	1.010 a	489 bcd	34 c	64 abc	5.925 bc	7.206 cd
<i>P. chiapensis</i>	728 c	446 de	37 abc	61 bc	6.336 ab	7.590bc
<i>P. maximinoi</i>	928 ab	526 abc	39 abc	70 a	6.968 ab	9.045 a
<i>P. oocarpa</i>	973 ab	533 ab	41 ab	68 ab	6.790 ab	7.788 abc
<i>P. taeda</i> (testemunha)	981 ab	515 ab	34 bc	63 abc	6.133 abc	8.234 abc
<i>P. tecunumanii</i>	932 ab	548 a	42 a	71 a	7.380 a	8.878 ab

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

Ao se analisar os resultados obtidos é possível verificar a formação de grupos com classes de massa específica e de resistência. Em relação à massa específica a 12%, a partir dos corpos de prova do ensaio de flexão estática, as espécies *P. tecunumanii*, *P. taeda*, *P. oocarpa* e *P. maximinoi* podem ser agrupados em uma classe considerada superior. Em relação à testemunha (*P. taeda*), a massa específica destas espécies são estatisticamente iguais. As espécies *P. hondurensis* e *P. caribaea* var. *bahamensis* encontram-se numa classe intermediária e o *P. chiapensis* e o *P. caribaea* var. *caribaea* apresentaram a menor classe de massa específica.

Em relação ao Módulo de Ruptura nos ensaios realizados com umidade de equilíbrio de 12%, as espécies *P. tecunumanii*, *P. oocarpa* e *P. maximinoi* estabelecem uma classe superior, porém esta classe não difere estatisticamente da testemunha. As espécies da classe intermediária, *P. hondurensis* e *P. caribaea bahamensis* apresentam valores estatisticamente iguais ao *P. taeda*, e as espécie da menor classe desta propriedade, embora tenham apresentado menor MOR não diferiram estatisticamente da testemunha. Para o MOR determinado no estado verde, as classes se resumem também a três, onde a classe superior é formada pelo *P. tecunumanii*, *P. oocarpa* e *P. caribaea* var. *bahamensis*, sendo que a primeira difere estatisticamente da testemunha. A segunda classe ou classe intermediária é composta pela testemunha, pelo *P. maximinoi* e *P. chiapensis*, sendo os valores médios estatisticamente iguais entre si. A classe de menor MOR enquadra as espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *P. caribaea* var. *caribaea*, apresentando igualdade estatística com o *P. taeda*.

Os resultados para o Módulo de Elasticidade determinados a partir das amostras com umidade de equilíbrio de 12%, apresentaram também três grupos distintos. A classe de maior valor médio é formada pelo *P. tecunumanii* e pelo *P. maximinoi*, sendo o último de maior valor numérico, porém estatisticamente igual ao *P. tecunumanii* e à testemunha. O segundo grupo nesta situação de ensaio compreende o *P. taeda*, o *P. oocarpa* e o *P. chiapensis*. A menor classe de resistência elástica é composta pelo *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e pelo *P. caribaea* var. *caribaea*. Em referência ao Módulo de Elasticidade para ensaio verde, a classe superior é composta pelas espécies *P. tecunumanii*, *P. oocarpa*, *P. maximinoi* e *P. chiapensis*, não diferindo

estatisticamente do *P. taeda*. A classe intermediária compreende o *P. taeda* e o *P. caribaea* var. *hondurensis*, sendo seguida pela menor classe de propriedades elásticas compreendendo as espécies *P. caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*. No entanto as últimas duas classes relatadas não diferem estatisticamente entre si.

De modo geral, pode-se observar que o *P. tecunumanii* apresentou os maiores valores médios de resistência. Os resultados superiores apresentados pela espécie podem ser justificados pelo fato de que a mesma também apresentou a maior massa específica. Desta forma, os resultados obtidos são condizentes com a teoria de Kollmann e Cotê (1968), Iwakiri (1982), Rocha; Paula e Siqueira (1988), Klock (1989), Muñiz (1993), Klock (2000), Melo (2004), que afirmam que quanto maior a massa específica maiores são as propriedades de resistência.

Por outro lado, a medida que a massa específica decresceu as espécies tenderam a apresentar menores valores de resistência, comprovando novamente a influência positiva da massa específica nas propriedades de resistência. Por fim, as espécies de menor quantidade de volume lenhoso, como por exemplo, o *P. chiapensis* e o *P. caribaea* var. *caribaea* tenderam a apresentar na maioria dos resultados deste ensaio os menores valores médios de resistência.

Comparando-se os resultados determinados para as oito espécies, com as espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil, observa-se que os resultados médios dos Módulos de Ruptura e Elasticidade aqui obtidos (MOR: 65 MPa e MOE: 7.671 MPa), foram superiores aos apresentados por Tomaselli (1980), para *P. taeda* com 18 anos, sendo 497 kgf/cm<sup>2</sup> (49 MPa) e 61.200 kgf/cm<sup>2</sup> (6.002 MPa) respectivamente. Os resultados foram ainda superiores aos resultados obtidos por este mesmo autor para *P. elliottii* com MOR de 512 kgf/cm<sup>2</sup> (50 MPa) e MOE de 76.100 kgf/cm<sup>2</sup> (7.463 MPa).

Em relação aos resultados apresentados por Muñiz (1993) para o ensaio de flexão estática de *P. taeda* (MOR: 638 kgf/cm<sup>2</sup> (63 MPa) e MOE: 88.300 kgf/cm<sup>2</sup> (8.659 MPa)), os resultados foram inferiores, porém a diferença é justificada pela idade, visto que a autora avaliou árvores com 30 anos.

Em referência aos resultados obtidos por Lucas Filho (1997), a partir de árvores de *P. taeda* e *P. elliottii* com 21 anos, (MOR: 52 MPa e 54 MPa e MOE:

8.661 MPa e 8.019 MPa), o resultado médio do MOR para as espécies são superiores e os resultados para o MOE apresentam-se inferiores. Analisando especificamente as duas espécies que apresentaram as maiores propriedades neste estudo, *P. tecunumanii* e *P. maximinoi*, verifica-se que as mesmas possuem características e propriedades superiores, mesmo com menor idade, podendo ser destinadas a uso mais nobres ou que requerem maior resistência. Em relação à testemunha, *P. taeda*, o MOR foi maior que o citado por Lucas Filho (1997) e o MOE apresentou-se ligeiramente inferior.

Klock (1989) avaliando a qualidade da madeira obteve MOR de 472 kgf/cm<sup>2</sup> (46 MPa) no estado verde e 690 kgf/cm<sup>2</sup> (68 MPa) a 15% de umidade de equilíbrio para o *P. oocarpa* com 18 anos procedente da Região de Agudos – SP. Para o MOE os resultados foram de 90.894 kgf/cm<sup>2</sup> (8.914 MPa) e 102.266 kgf/cm<sup>2</sup> (10.029 MPa) respectivamente. Observa-se que os resultados encontrados por este autor são superiores. Uma provável explicação para estes resultados pode estar em função da procedência, bem como das condições de crescimento, visto que espécies de *Pinus* tropicais, possuem melhor adaptação e desenvolvimento em regiões mais quentes. Neste mesmo estudo, este autor também avaliou a qualidade da madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis*, onde obteve MOR de 463 kgf/cm<sup>2</sup> (45 MPa) para estado verde e 729 kgf/cm<sup>2</sup> (71 MPa) para amostras com umidade de equilíbrio de 15%. O MOE foi de 89.431 kgf/cm<sup>2</sup> (8.770 MPa) e 110.558 kgf/cm<sup>2</sup> (10.842 MPa) respectivamente. As diferenças novamente podem ser explicadas pela procedência, pela região de desenvolvimento e neste caso, também pela idade, visto esta espécie possuir 20 anos.

Referenciando outro estudo realizado por Klock (2000), com espécies de *P. maximinoi* e *P. taeda*, provenientes de mesma local, porém com 11 anos, verifica-se que este autor encontrou valores para o MOR de 66,07 MPa e 60,59 MPa e para o MOE, 8.337 MPa e 7.025 MPa. Os resultados inferiores obtidos por Klock (2000), podem ser explicados pela idade, onde o mesmo avaliou madeira exclusivamente juvenil, sendo que com o aumento da idade, a madeira vai gradativamente assumindo características de madeira adulta nas porções externas, na qual a massa específica aumenta e, por consequência, em relação da correlação positiva existente entre propriedades, a resistência mecânica é aumentada.

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos com o ensaio, bem como avaliação da variabilidade das propriedades, são apresentados os resultados médios por espécie, amostragem realizada e coeficientes de variação.

TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE *Pinus*, NAS CONDIÇÕES VERDE E SECA A 12%, AMOSTRAGEM E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO

	ME verde (kg/m <sup>3</sup> )	ME 12% (kg/m <sup>3</sup> )	MOR verde (MPa)	MOR 12% (MPa)	MOE verde (MPa)	MOE 12% (MPa)
<i>Pinus c. bahamensis</i>						
Média	890	476	40	63	5.129	6.568
Número de Amostras	60	48	60	48	60	48
C. V (%)	13	15	33	28	41	33
<i>Pinus c. caribaea</i>						
Média	776	435	34	56	4.802	6.060
Número de Amostras	38	37	38	37	38	37
C. V (%)	12	11	24	26	29	37
<i>Pinus c. hondurensis</i>						
Média	1.010	489	34	64	5.925	7.206
Número de Amostras	39	42	39	42	39	42
C. V (%)	24	11	27	22	37	32
<i>Pinus chiapensis</i>						
Média	728	446	37	61	6.336	7.590
Número de Amostras	48	51	48	51	48	51
C. V (%)	23	11	13	11	14	17
<i>Pinus maximinoi</i>						
Média	928	526	39	70	6.968	9.045
Número de Amostras	44	44	44	44	44	44
C. V (%)	23	14	19	17	28	24
<i>Pinus oocarpa</i>						
Média	973	533	41	68	6.790	7.788
Número de Amostras	45	40	45	40	45	40
C. V (%)	15	16	22	24	31	33
<i>Pinus taeda</i> (testemunha)						
Média	981	515	34	63	6.133	8.234
Número de Amostras	25	24	25	24	25	24
C. V (%)	6	12	25	23	27	28
<i>Pinus tecunumanii</i>						
Média	932	548	42	71	7.380	8.878
Número de Amostras	47	56	47	56	47	56
C. V (%)	20	14	23	17	30	25



De acordo com a TABELA 10 observa-se que os coeficientes de variação são elevados para as espécies analisadas. Em alguns casos verifica-se também uma semelhança entre as variações das propriedades entre espécies, sendo explicado muito provavelmente, pelo fato destas espécies apresentarem propriedades similares entre si. A alta variabilidade das propriedades da madeira de espécies do gênero *Pinus* é reconhecida por muitos pesquisadores, como por exemplo, Kollmann e Cotê (1968) e Bendsten (1978).

Estabelecendo uma comparação com coeficientes de variação obtidos pelo Forest Products Laboratory e por Lisboa, Matos e Melo (1993) para massa específica aparente 12% a partir de amostras do ensaio de flexão estática, observa-se que as espécies *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. chiapensis*, foram as que apresentaram coeficientes de variação similares e próximos a literatura citada, seguido do *P. taeda*. Para a massa específica verde, o menor coeficiente de variação é o obtido pelo *P. taeda*, com 6%, seguido pelo *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. caribaea* var. *bahamensis*, com 12% e 13% respectivamente. Tendo em vista, que a amostragem foi efetuada de modo a eliminar todos os fatores de influência nas propriedades, como por exemplo, posição radial e longitudinal, a alta variabilidade da massa específica aparente 12% pode ser justificada como uma característica intrínseca da espécie. Em relação os altos coeficientes obtidos para a massa específica verde, os mesmos podem ser explicados pela alta variação do teor de umidade das amostras (31% a 230%), onde os resultados são influenciados significativamente. Para o *P. taeda* o baixo coeficiente de variação obtido na massa específica verde pode ter ocorrido em função de esta espécie ter apresentado o teor de umidade mais homogêneo.

Para o Módulo de Ruptura os coeficientes de variação foram elevados para a maioria das espécies nas duas condições ensaiadas. O Forest Products Laboratory estabelece um coeficiente de variação de 16% para esta propriedade, sendo que neste estudo apenas o *P. chiapensis*, *P. maximinoi*, e o *P. tecunumanii* apresentaram valores próximos, (11%-13%, 17% e 17% respectivamente). Para as demais espécies o coeficiente de variação médio foi de 25% tanto para amostras com umidade de equilíbrio de 12% quanto para o estado verde.

Por outro lado, estabelecendo comparação com os coeficientes de variação obtidos por Santini, Haselein e Gato (2000), o valor apresentado por estes autores

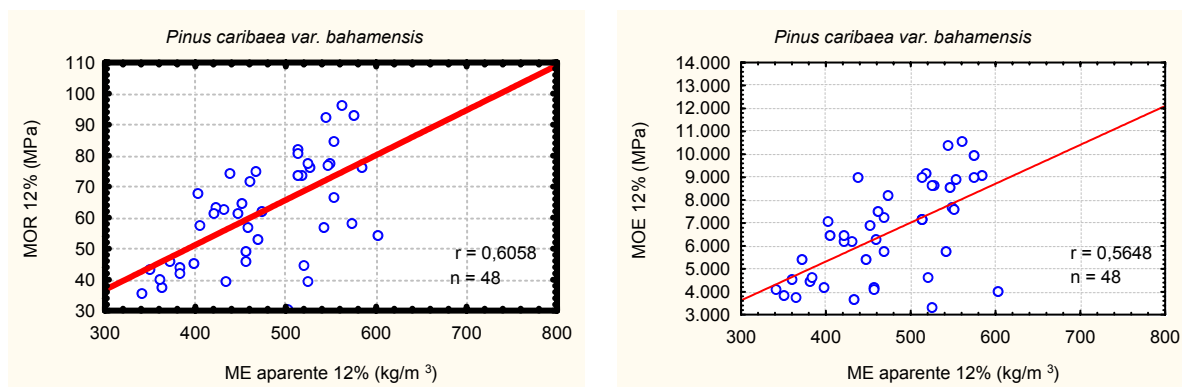
para o *P. taeda* foi superior, sendo 22,6% para o MOR e 31,6 % para o MOE. Esta maior variação pode estar relacionada em função da norma utilizada, da idade e consequentemente da madeira juvenil, visto que tais autores avaliaram povoamentos com 13 anos.

Para o Módulo de Elasticidade, o coeficiente de variação estabelecido por Lisboa, Matos e Melo (1993), é de 15%, onde neste estudo o *P. chiapensis* foi a única espécie que mostrou relação mais próxima a este valor (16,5%). As demais espécies apresentaram um coeficiente de variação médio de 31%. Mesmo comparando com o coeficiente de variação mencionado pelo Forest Products Laboratory (22%), os resultados obtidos neste trabalho foram extremamente altos, indicando desta forma, uma grande variabilidade de propriedades entre e dentro de árvores e entre as diferentes espécies, que pode ser explicada pela grande variação de massa específica dos corpos de prova (300 a 700 kg/m<sup>3</sup>) e comprovada nos GRÁFICOS 2 e 3.

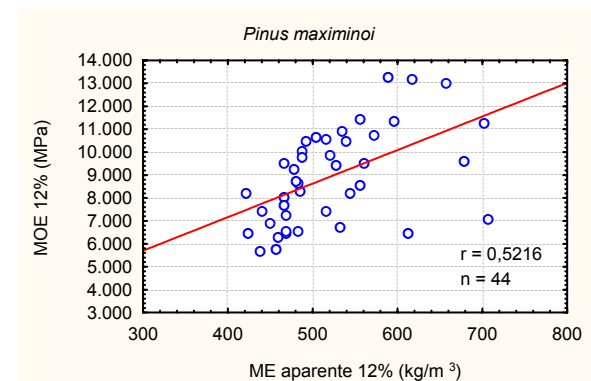
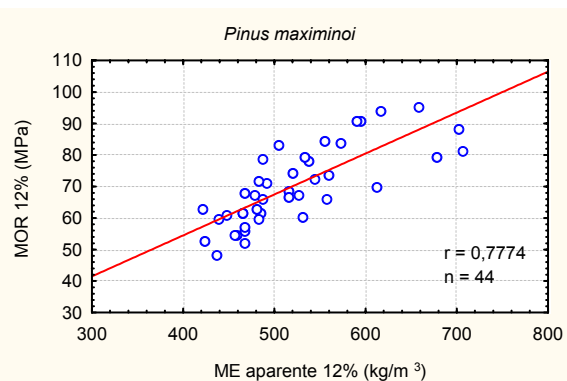
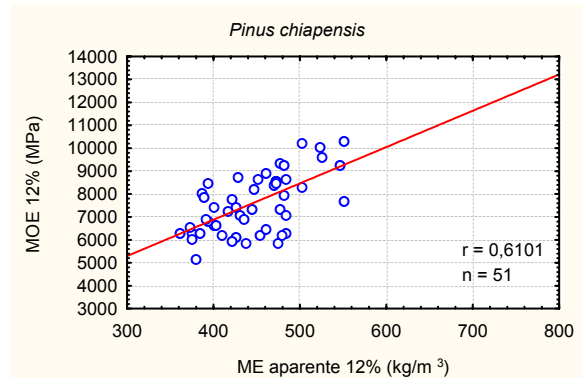
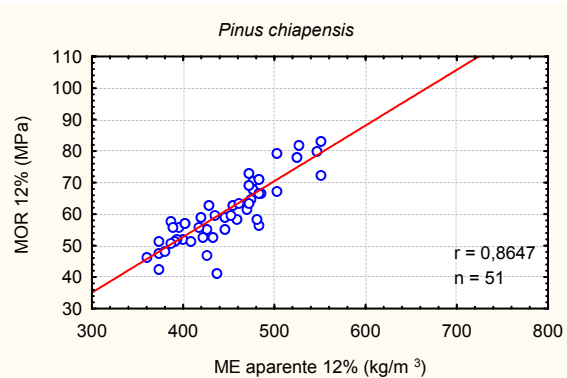
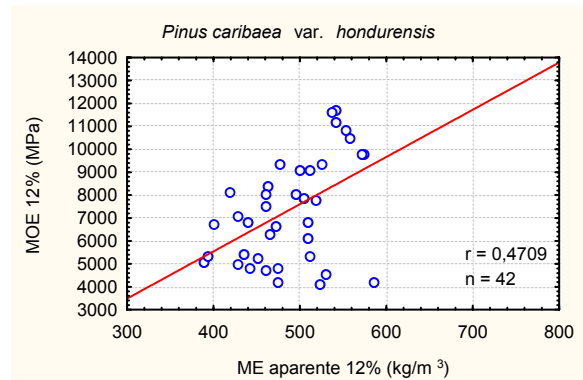
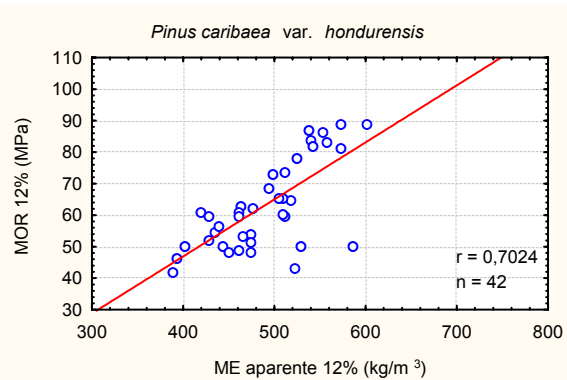
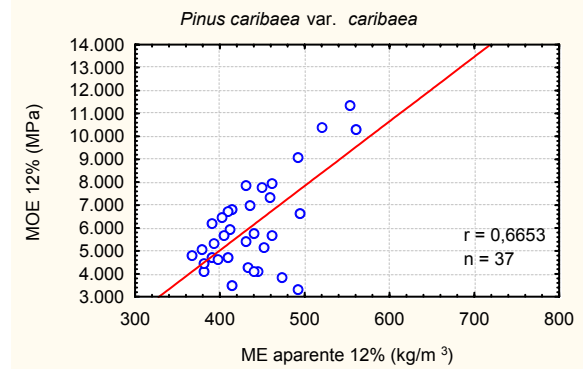
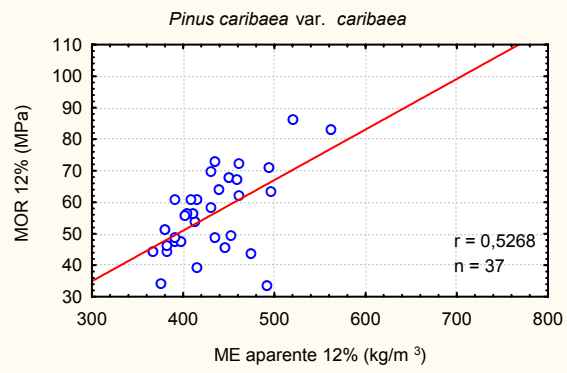
#### 6.3.1.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Flexão Estática

O GRÁFICO 3 apresenta as regressões lineares a 95% de probabilidade entre as propriedades de resistência a flexão estática, com a massa específica aparente dos corpos de prova testados.

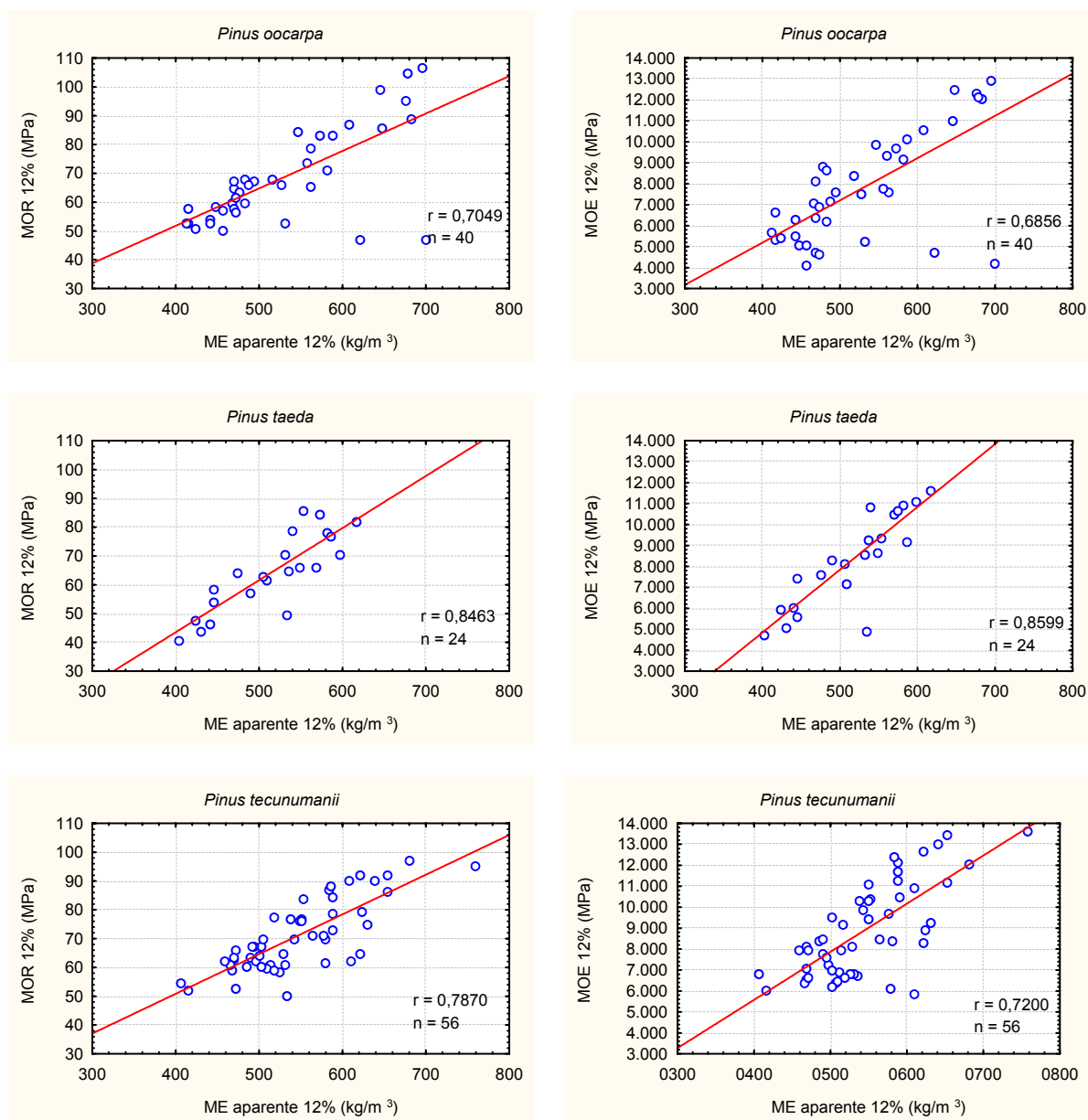
GRÁFICO 3 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12% DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



## Continuação GRÁFICO 3 ...



### Continuação GRÁFICO 3 ...



Verifica-se nestes gráficos que o Módulo de Ruptura e o Módulo de Elasticidade relacionam-se significativa e diretamente com a massa específica aparente em todas as espécies estudadas.

A TABELA 11 apresenta as equações lineares obtidas pela análise de regressão a 95% de probabilidade, e os respectivos coeficientes de correlação, para as propriedades de flexão estática com a massa específica aparente (12%).

TABELA 11 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE FLEXÃO ESTATICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Equações	Correlação
<i>P. c. bahamensis</i>	MOR 12% = - 6,7133 + 0,1448 x ME <sub>12%</sub>	0,6058
	MOE 12% = - 1469,2292 + 16,9719 x ME <sub>12%</sub>	0,5648
	MOR 12% = 140,9039 + 0,0073 x MOE <sub>12%</sub>	0,9195
	MOE 12% = - 5946,6274 + 115,6184 x MOR <sub>12%</sub>	0,9195
<i>P. c. caribaea</i>	MOR 12% = - 13,2029 + 0,1605 x ME <sub>12%</sub>	0,5268
	MOE 12% = - 6243,6782 + 28,158 x ME <sub>12%</sub>	0,6653
	MOR 12% = 178,0641 + 0,0066 x MOE <sub>12%</sub>	0,9402
	MOE 12% = - 16837,0762 + 133,8267 x MOR <sub>12%</sub>	0,9402
<i>P. c. hondurensis</i>	MOR 12% = 25,5193 + 0,181 x ME <sub>12%</sub>	0,7024
	MOE 12% = - 2695,7828 + 20,6002 x ME <sub>12%</sub>	0,4709
	MOR 12% = 260,3862 + 0,0052 x MOE <sub>12%</sub>	0,8729
	MOE 12% = - 20672,3324 + 146,5838 x MOR <sub>12%</sub>	0,8729
<i>P. chiapensis</i>	MOR 12% = - 17,9302 + 0,1767 x ME <sub>12%</sub>	0,8647
	MOE 12% = 541,3528 + 15,845 x ME <sub>12%</sub>	0,6101
	MOR 12% = 129,8632 + 0,0063 x MOE <sub>12%</sub>	0,8028
	MOE 12% = 14265,2229 + 102,0064 x MOR <sub>12%</sub>	0,8028
<i>P. maximinoi</i>	MOR 12% = 2,501 + 0,13 x ME <sub>12%</sub>	0,7774
	MOE 12% = 1308,2672 + 14,6393 x ME <sub>12%</sub>	0,5216
	MOR 12% = 237,7197 + 0,0052 x MOE <sub>12%</sub>	0,8806
	MOE 12% = -14700,8101 + 147,8341 x MOR <sub>12%</sub>	0,8806
<i>P. oocarpa</i>	MOR 12% = - 0,2041 + 0,1299 x ME <sub>12%</sub>	0,7049
	MOE 12% = - 2878,4699 + 20,1717 x ME <sub>12%</sub>	0,6856
	MOR 12% = 227,4202 + 0,0059 x MOE <sub>12%</sub>	0,9469
	MOE 12% = - 26165,0376 + 151,1577 x MOR <sub>12%</sub>	0,9469
<i>P. taeda</i> (testemunha)	MOR 12% = - 28,8068 + 0,1808 x ME <sub>12%</sub>	0,8463
	MOE 12% = - 7141,0878 + 29,9668 x ME <sub>12%</sub>	0,8599
	MOR 12% = 175,0045 + 0,0057 x MOE <sub>12%</sub>	0,9097
	MOE 12% = - 11317,1425 + 146,1745 x MOR <sub>12%</sub>	0,9097
<i>P. tecunumanii</i>	MOR 12% = - 4,2889 + 0,1378 x ME <sub>12%</sub>	0,7870
	MOE 12% = - 3613,0017 + 22,9676 x ME <sub>12%</sub>	0,7200
	MOR 12% = 267,3859 + 0,005 x MOE <sub>12%</sub>	0,9118
	MOE 12% = - 29134,587 + 166,0698 x MOR <sub>12%</sub>	0,9118

\* Significativo a 95% de probabilidade.

ME<sub>12%</sub> = Massa Específica Aparente a 12%.

Os coeficientes de correlação determinados através das regressões para o Módulo de Ruptura com a massa específica aparente 12% mostram-se na maioria dos casos elevados, variando de 0,5268 a 0,8647. Para o Módulo de Elasticidade os coeficientes apresentaram-se um pouco menores, com variação de 0,4709 a 0,8599. No entanto, em ambos os casos, comprova-se a alta influência da massa específica sobre as propriedades de resistência. Já os coeficientes de correlação entre MOR 12% e MOE 12%, foram mais elevados ainda, demonstrando a alta relação entre estas duas propriedades mecânicas. Em relação às correlações obtidas por outros pesquisadores, pode-se citar KOCH (1972), que avaliando cinco espécies de *Pinus* dos Estados Unidos obteve correlação entre MOR e massa específica de 0,72 a 0,87 e 0,44 a 0,69 para MOE e massa específica.

#### 6.3.1.2 Influência do Teor de Umidade na Flexão Estática

Neste sub-item é analisado a influência do teor de umidade nas propriedades de resistência. Verifica-se que quanto menor o teor de umidade maiores são as propriedades mecânicas obtidas. Este fato é fundamentado por Stamm (1964), que relata que à medida que a madeira perde umidade, ocorre o fenômeno de contração, onde as unidades estruturais se aproximam, aumentando significativamente a quantidade de ligações eletrostáticas entre si e conseqüentemente a resistência. Acima do PSF, as mudanças no teor de umidade não apresentam efeitos aparentes sobre a resistência.

Na TABELA 12 são apresentadas as relações entre teor de umidade e resistência a flexão estática.

TABELA 12 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E FLEXÃO ESTÁTICA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Aumento do MOR verde a 12% (%)	Aumento do MOE verde a 12% (%)	Variação % MOR a cada 1% de variação no teor de umidade (%) PSF (30%) a 12%	Variação % MOE a cada 1% de variação no teor de umidade (%) PSF (30%) a 12%
<i>P.c.bahamensis</i>	37,11	21,92	2,06	1,22
<i>P. c. caribaea</i>	40,63	20,75	2,26	1,15
<i>P.c. hondurensis</i>	46,45	17,78	2,58	0,99
<i>P. chiapensis</i>	39,03	16,51	2,17	0,92
<i>P. maximinoi</i>	44,20	22,96	2,46	1,28
<i>P. oocarpa</i>	39,68	12,82	2,20	0,71
<i>P. taeda</i> (testemunha)	45,41	25,52	2,52	1,42
<i>P. tecunumanii</i>	40,97	16,87	2,28	0,94

De maneira geral, as espécies estudadas apresentaram um incremento médio de 41,68% para o MOR, quando a madeira passou da condição verde para 12% de umidade. A espécie com incremento mais acentuado foi o *P. caribaea* var. *hondurensis*, com 46,45%. Para o MOE, o acréscimo médio na resistência foi da ordem de 19,39% com a variação de verde para 12%. O resultado mais pronunciado nesta situação foi apresentado pela testemunha, com 25,52% de aumento. Os acréscimos encontrados neste estudo assemelham-se aos resultados citados por Bendsten (1978) que menciona que o acréscimo de resistência para o ensaio de flexão estática é de 35% quando a madeira passa do nível verde para 15%, e por Lucas Filho (1997), onde este relata em sua revisão de literatura, que em estudos com *Pinus spp* conduzidos por McLain *et al* (1984), obteve-se acréscimo de 35% para o MOR quando a condição passou de verde para 10% de umidade e 25% para o MOE com variação de verde para 10%.

Nota-se pelo resultado obtido neste estudo, que o MOE aumentou em menor proporção que o MOR, reafirmando as informações disponíveis na literatura que a variação do teor de umidade afeta mais a resistência que a rigidez.

Ainda em referência aos resultados apresentados na TABELA 12, pode-se estabelecer uma relação entre o valor do ajuste do teor de umidade das espécies estudadas e os valores preconizados pela USDA (1955). Segundo esta literatura, as correções devem ser efetuadas de acordo com a TABELA 2, apresentada na Revisão de Literatura. No entanto nota-se uma diferença entre estas duas tabelas, sendo aproximadamente a metade para ambas as propriedades (Valor médio TABELA 12 – MOR: 2,32% e MOE: 1,08%). Tais diferenças podem ser justificadas pelo fato de que os valores mencionados por USDA (1955) foram originados a partir de pesquisas com espécies da América do Norte, as quais apresentam diferentes características e ritmos de crescimento, evidenciando diferentes comportamentos tecnológicos.

### 6.3.2 Compressão

Os valores médios obtidos no ensaio de Compressão paralela às fibras das espécies de *Pinus* tropicais em estado verde e umidade de equilíbrio, assim como, a massa específica aparente e verde dos corpos de prova avaliados são apresentados na TABELA 13.

TABELA 13 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DE SETE ESPÉCIES DE *PINUS* TROPICAIS

Espécie	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )		MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Verde	UE - 12%	Verde	UE - 12%	Verde	UE - 12%
<i>P.c.bahamensis</i>	663 d	465 de	21 a	33 c	5.129 c	9.550 d
<i>P. c. caribaea</i>	623 d	436 e	17 c	30 c	7.028 c	10.480 cd
<i>P.c. hondurensis</i>	949 ab	498 cd	16 c	36 bc	8.816 abc	11.324 bcd
<i>P. chiapensis</i>	797 c	441 e	19 abc	36 bc	8.278 bc	11.546 bcd
<i>P. maximinoi</i>	940 ab	512 bc	18 bc	40 ab	9.047 abc	14.133 ab
<i>P. oocarpa</i>	971 a	548 ab	22 a	41 ab	8.822 abc	13.597 abc
<i>P. taeda</i> (testemunha)	890 abc	501 bcd	16 c	40 ab	10.012 ab	13.197 abcd
<i>P. tecunumanii</i>	869 bc	555 a	21 ab	42 a	10.899 a	15.109 ab

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.



De acordo com a TABELA 13 pode-se observar a formação de grupos homogêneos para massa específica aparente 12%. A classe de massa específica superior é formada pelo *P. tecunumanii* e pelo *P. oocarpa*. Embora estas duas espécies sejam estatisticamente iguais entre si, o *P. tecunumanii* difere estatisticamente da testemunha (*P. taeda*). A classe intermediária é composta pela testemunha, pelo *P. maximinoi* e pelo *P. caribaea* var. *hondurensis*. A classe inferior reúne as espécies *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *caribaea* e o *P. chiapensis*. Desta última classe o *P. caribaea* var. *caribaea* e o *P. chiapensis* diferem da testemunha. Assim como nas amostras do ensaio de flexão estática, o *P. caribaea* var. *caribaea* e o *P. chiapensis* foram novamente as espécies com menor valor médio de resistência, muito provavelmente devido a menor quantidade de matéria lenhosa.

Os resultados de Módulo de Ruptura para o ensaio verde demonstram que a massa específica em estado saturado não exerce influência significativa sobre esta propriedade. Isto pode ser justificado de acordo com vários pesquisadores que afirmam que acima do PSF, ocorre aumento apenas na massa e teor de umidade, não ocorrendo mudanças sobre as propriedades mecânicas. Neste caso, a influência é exercida pela presença de umidade, porém acima do PSF não é possível estabelecer correlação adequada.

Os resultados para o MOR obtidos a partir de amostras em umidade de equilíbrio (12%), demonstram a formação de duas classes de resistência. A classe superior comporta o *P. tecunumanii*, *P. taeda*, *P. oocarpa* e o *P. maximinoi*. A classe de menor resistência compreende o *P. chiapensis*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, o *P. caribaea* var. *caribaea* e o *P. caribaea* var. *bahamensis*. Exceto o *P. caribaea* var. *caribaea* e o *P. caribaea* var. *bahamensis*, as demais espécies apresentaram médias estatisticamente iguais ao *P. taeda*. Em relação à massa específica aparente, verifica-se maior resistência para as espécies mais densas.

Os resultados do Módulo de Elasticidade a partir deste ensaio demonstram a classificação das espécies em três grupos para ambas as condições, não sendo estas necessariamente iguais. É possível confirmar neste caso, que as espécies que apresentaram a maior massa específica tenderam a apresentar as maiores

propriedades de elasticidade, bem como, a influência da baixa massa específica nas propriedades mecânicas.

Em relação aos valores citados na literatura, como por exemplo, na Norma NBR 7190, os resultados obtidos neste estudo para o *P. caribaea* var. *caribaea* foi inferior para o MOR e superior para o MOE. O *P. caribaea* var. *bahamensis* apresentou propriedades superiores tanto para o MOR quanto para o MOE, demonstrando sua aptidão sob o ponto de vista estrutural. O *P. caribaea* var. *hondurensis*, o *P. oocarpa* e o *P. taeda*, também apresentaram valor inferior para o MOR segundo esta Norma, porém valores MOE elevados. As diferenças entre valores médios de MOR e MOE, estão associadas provavelmente ao método de ensaio, que diferem entre estas duas normas.

Comparando os resultados da testemunha (*P. taeda*) com valores obtidos por Santini, Haselein e Gato (2000), a partir desta mesma espécie, porém com metodologia recomendada pela ASTM D-143, estes autores obtiveram valores inferiores, sendo de 291 kgf/cm<sup>2</sup> (29 MPa) para o MOR e 87.606 kgf/cm<sup>2</sup> (8.591 MPa) para o MOE. A justificativa para tais diferenças encontradas é dada em função da idade, onde aos 13 anos a madeira avaliada por estes pesquisadores deveria ser composta praticamente por madeira juvenil e também pelo método de ensaio.

Lucas Filho (1997) obteve em seu trabalho valores médios de MOR de 24 MPa e MOE de 9.467 MPa para *P. taeda* com 21 anos de idade. Em relação aos resultados mencionados nesta pesquisa, os valores para esta espécie mesmo com idade inferior foram mais altos, sendo 40 MPa para o MOR e 13.197 MPa para o MOE. Características físicas e do material genético, sítio de crescimento e tratamentos silviculturais, bem como norma utilizada podem explicar tal resultado.

Klock (1989) em estudo com *P. oocarpa* de 18 anos obteve MOR de 249 kgf/cm<sup>2</sup> (24 MPa) para madeira verde e 391 kgf/cm<sup>2</sup> (38 MPa) para madeira em umidade de equilíbrio a 15%. O MOE obtido foi de 84.929 kgf/cm<sup>2</sup> (8.329 MPa) e 99.220 kgf/cm<sup>2</sup> (9.730 MPa) respectivamente. Em comparação com os resultados da TABELA 13, verifica-se que os valores não foram discrepantes entre as condições ensaiadas, porém os resultados obtidos por este autor foi superior para o MOR (considerando o ajuste de umidade de 15% a 12%) e inferior para o MOE. Em relação ao MOE, os resultados foram inferiores nas duas condições. Uma provável justificativa pode ser descrita em função da massa específica, onde este autor

obteve massa específica básica média de  $448 \text{ kg/m}^3$ , e a massa específica aparente a 12% relatada neste estudo foi de  $548 \text{ kg/m}^3$ . Sendo difícil e inconsistente comparar massas específicas em diferentes teores de umidade e conseqüentemente avaliar sua influência em uma propriedade, a massa específica básica para esta espécie, obtida a partir da equação linear para o *P. oocarpa* descrita na TABELA 8, é de  $479 \text{ kg/m}^3$ , com coeficiente de correlação de 0,9981. Em função desta diferença de massa específica justifica-se e reafirma-se a correlação positiva da massa específica sobre as propriedades mecânicas da madeira. Ainda neste estudo, este autor avalia as propriedades físicas e mecânicas do *P. caribaea* var. *hondurensis*. O MOR em estado verde relatado foi de  $233 \text{ kgf/cm}^2$  (23 MPa) e em madeira com umidade de equilíbrio de 15% foi de  $381 \text{ kgf/cm}^2$  (37 MPa), ambos superiores aos descritos neste trabalho. O MOE foi de  $84.403 \text{ kgf/cm}^2$  (8.277 MPa) e  $101.549 \text{ kgf/cm}^2$  (9.959 MPa) respectivamente, sendo o MOE verde inferior, e o MOE em umidade de equilíbrio com teor de umidade corrigido para 13% superior aos mencionados na TABELA 13.

Estabelecendo comparação com KLOCK (2000) para o *P. maximinoi* e *P. taeda*, com umidade de equilíbrio de 12%, verifica-se que este autor obteve MOR de 24 MPa e 25 MPa respectivamente. O MOE obtido foi de 6.867 MPa e 6.967 MPa respectivamente. Comparando tais resultados com os valores obtidos neste estudo para estas mesmas espécies e apresentados na TABELA 13, verifica-se no segundo caso, superioridade de propriedades. Embora as amostras sejam oriundas de mesmo local e procedência o fator limitante neste caso é a idade, onde o autor analisou árvores com 11 anos, e neste caso foram avaliadas propriedades de árvores com 18 anos.

Bortoletto Junior (1993 e 2008) avaliando espécies de *Pinus* tropicais, mais precisamente, *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, e *P. oocarpa* com idade entre 10 e 25 anos obteve diferentes valores de propriedades a partir da Norma NBR 7190. Para o *P. caribaea* var. *bahamensis* este autor obteve MOR de 32 MPa e MOE de 6.705 MPa. Comparando os resultados de Bortoletto Junior com os obtidos neste estudo, verifica-se no segundo caso, uma ligeira superioridade para o MOR, e um aumento de 30% em relação ao MOE. Em relação ao *Pinus caribaea* var. *caribaea*, ao *P. caribaea* var. *hondurensis* e ao *P. oocarpa*, o MOR apresentado por Bortoletto Junior (1993) foi superior para as três espécies e o MOE foi inferior. Em termos percentuais a

resistência à compressão foi de 13%, 11% e 5% maior, e o MOE foi 20%, 17% e 23% menor, respectivamente. Em relação ao *P. taeda* os resultados aqui obtidos foram ligeiramente inferiores para as duas propriedades analisadas quando comparadas com este autor, sendo da ordem de 9% para o MOR e 1% para o MOE. Prováveis explicações para as diferenças encontradas entre os estudos podem ser dadas em função da norma utilizada, variabilidade de idade, bem como devido às características de crescimento, tais como solo, sítio, espaçamento, clima, à procedência e às práticas silviculturais.

Relacionando pesquisas desenvolvidas por Moura, Vale e Oliveira (2005) com *P. tecunumanii* também de 18 anos e baseadas na Norma Copant, porém de regiões distintas, observa-se que a resistência a compressão determinada por estes autores foi inferior a este estudo, sendo de 313 kgf/cm<sup>2</sup> (31 MPa). Esta diferença de 26% no valor da resistência pode ser justificada pela massa específica, tendo em vista que os mesmos obtiveram um valor de 450 kg/m<sup>3</sup> (ME<sub>básica</sub>) comparando-se com o valor aqui obtido de 476 kg/m<sup>3</sup>, também para a massa específica básica.

Os resultados médios por espécie, obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras, com seus respectivos número de amostras e coeficientes de correlação são apresentados na TABELA 14.

De acordo com a TABELA 14 verifica-se elevada heterogeneidade para os coeficientes de variação encontrados nas propriedades deste ensaio. Na determinação da massa específica aparente 12%, exceto as espécies *P. caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *P. oocarpa*, as demais apresentaram coeficientes de variação próximos aos mencionados na literatura. O coeficiente de variação médio para o Módulo de Ruptura a 12% foi de 21%, sendo considerado alto se comparado com os valores estabelecidos pelo Forest Products Laboratory, e mais ainda altos ainda quando correlacionados com os valores determinados por Lisboa, Matos e Melo (1993). Neste caso, as espécies que apresentaram menor coeficiente foram o *P. chiapensis* e o *P. taeda*. Na determinação do MOR em estado verde o *P. chiapensis* também ofereceu o menor coeficiente com 12%.

TABELA 14 – RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA AS FIBRAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

	ME verde% (kg/m <sup>3</sup> )	ME 12% (kg/m <sup>3</sup> )	MOR verde (Mpa)	MOR 12% (MPa)	MOE verde (MPa)	MOE 12% (MPa)
<i>Pinus c. bahamensis</i>						
Média	663	465	21	33	5.129	9.550
Numero de Amostras	33	30	33	30	33	30
C. V (%)	13	15	30	25	44	32
<i>Pinus c. caribaea</i>						
Média	623	436	17	30	7.028	10.480
Numero de Amostras	28	26	28	26	28	26
C. V (%)	17	22	18	27	38	34
<i>Pinus c. hondurensis</i>						
Média	949	498	16	36	8.816	11.324
Numero de Amostras	32	34	32	34	32	34
C. V (%)	13	11	20	20	42	30
<i>Pinus chiapensis</i>						
Média	797	441	19	36	8.278	11546
Numero de Amostras	37	45	37	45	37	45
C. V (%)	21	11	12	14	22	26
<i>Pinus maximinoi</i>						
Média	940	512	18	40	9.047	14.133
Numero de Amostras	32	39	32	39	32	39
C. V (%)	11	11	27	20	38	39
<i>Pinus oocarpa</i>						
Média	971	548	22	41	8.822	13.597
Numero de Amostras	30	26	30	26	30	26
C. V (%)	12	14	21	22	30	26
<i>Pinus taeda</i> (testemunha)						
Média	890	501	16	40	10.012	13.197
Numero de Amostras	26	23	26	23	26	23
C. V (%)	11	11	25	18	36	27
<i>Pinus tecunumanii</i>						
Média	869	555	21	42	10.899	15.109
Numero de Amostras	37	39	37	39	37	39
C. V (%)	13	12	26	21	35	35

Para o MOE, os coeficientes de variação foram em média 31% para ensaio a 12% e 37% para ensaio verde. Observa-se novamente que tais coeficientes foram altos, sendo explicado muito provavelmente pela alta variação nesta propriedade. O

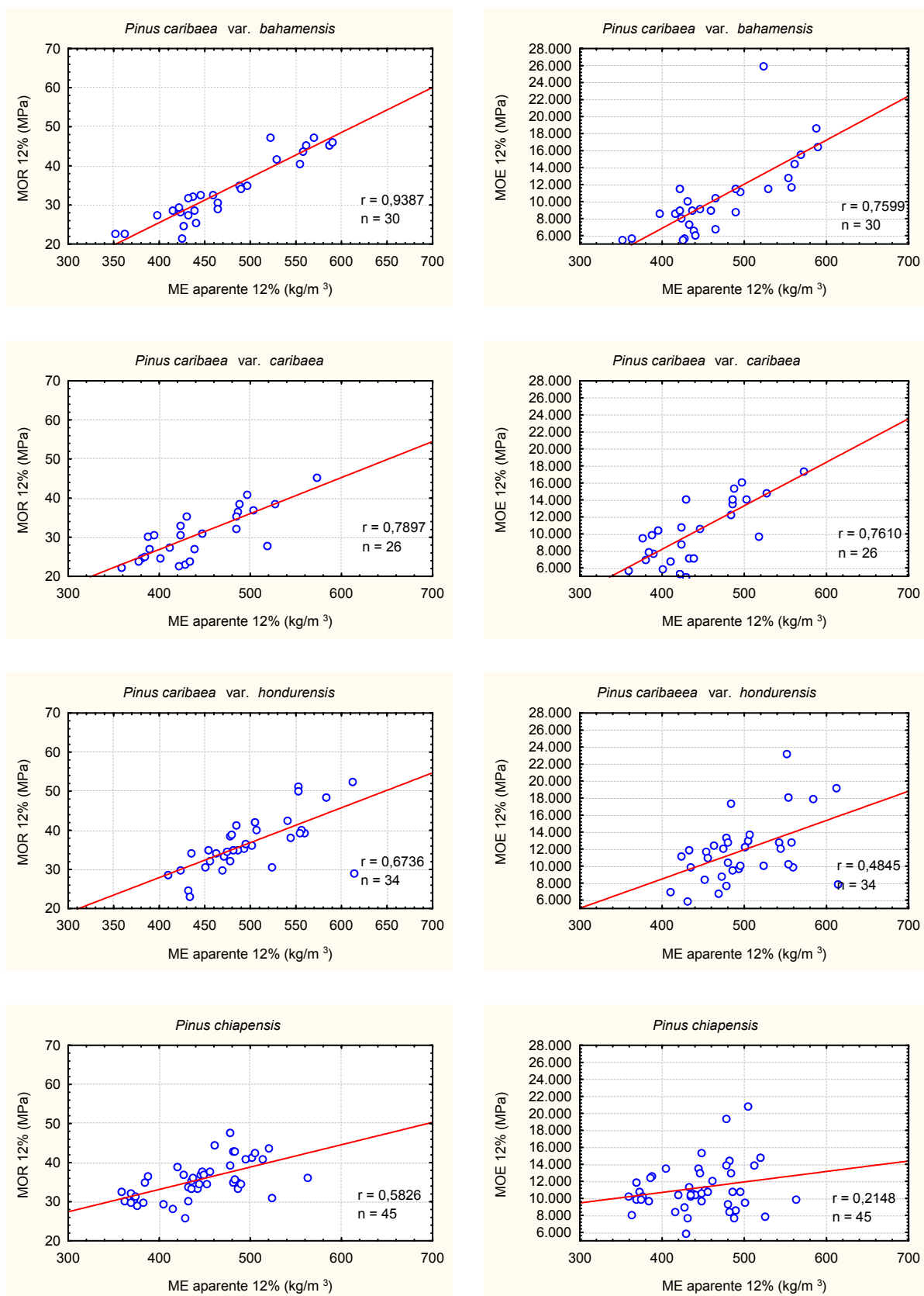
maior coeficiente no ensaio com umidade de equilíbrio é gerado pelo *P. maximinoi* (39%), com variabilidade de 3.562 MPa a 15.489 MPa. No ensaio em estado verde os maiores coeficientes são os gerados por espécies de *P. caribaea*, mais especificamente as variedades *bahamensis* (44%) com MOE verde variando de 2.687 MPa a 18.396 MPa e *hondurensis* (42%) com variabilidade de 3.321 MPa a 16.982 MPa. Resultados satisfatórios em relação à coeficientes de variação foram obtidos tanto para o *P. chiapensis* quanto para o *P. oocarpa*.

Embora seja comum utilizar os valores de referência do Forest Products Laboratory e do Laboratório de Produtos Florestais de Brasília para coeficientes de variação, é extremamente importante analisar coeficientes de variação obtidos para mesmas espécies a partir de outras pesquisas. Moura, Vale e Oliveira (2005) avaliando propriedades da madeira de *P. tecunumanii* obtiveram um coeficiente de variação extremamente baixo para o MOR, sendo de 12%. Já Bortoletto Junior (1993), obteve coeficientes de variação para o MOR mais elevado, sendo de 30% para o *P. caribaea* var. *hondurensis* em amostras ensaiadas com umidade de equilíbrio. Em relação a esta espécie, os coeficientes de variação obtidos por este autor e neste estudo são iguais, reafirmando que a variabilidade de propriedades é uma característica inerente a espécie. Coeficientes de variação para Módulo de Elasticidade de Pinus Tropicais são também apresentados por Bortoletto Junior (2008), onde o mesmo relata coeficientes de 36 a 48%. O resultado mais expressivo obtido por este autor é também proporcionado pelo *P. caribaea* var. *hondurensis* (48%), seguido pelo *P. caribaea* var. *bahamensis* (47%). Considerando os coeficientes descritos por Bortoletto Junior e os expostos na TABELA 14, é possível mencionar que a elevada variabilidade de propriedades nestes dois estudos, são provavelmente características inerentes as espécies.

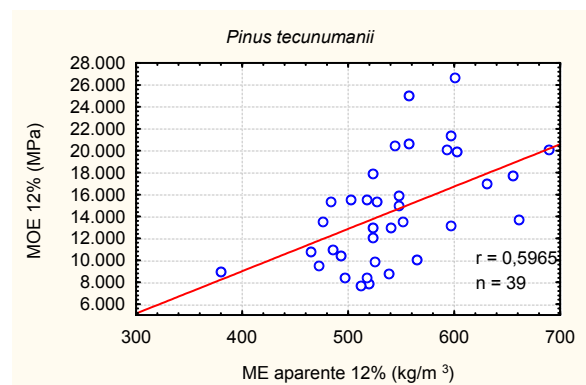
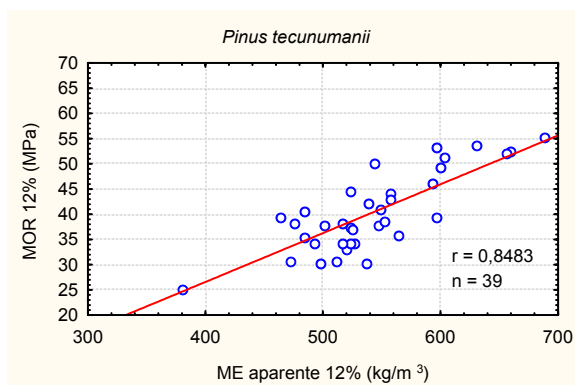
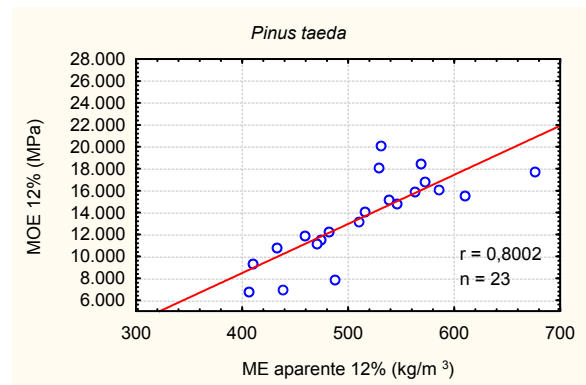
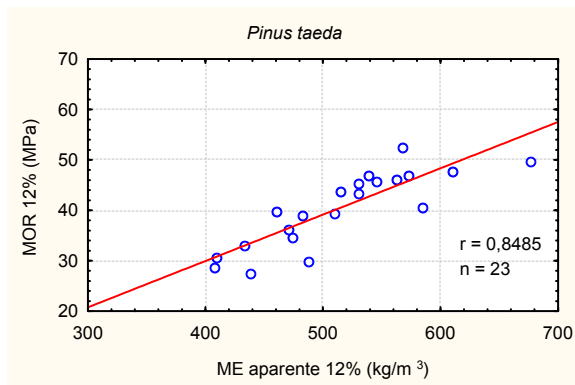
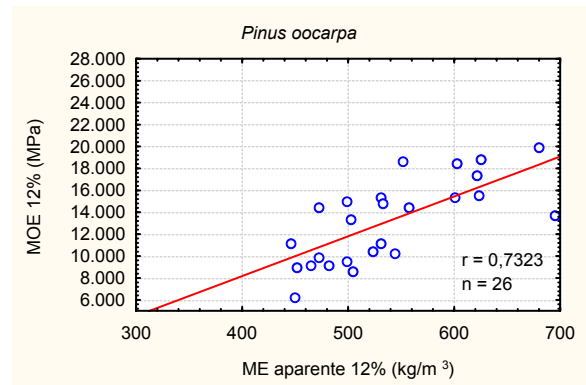
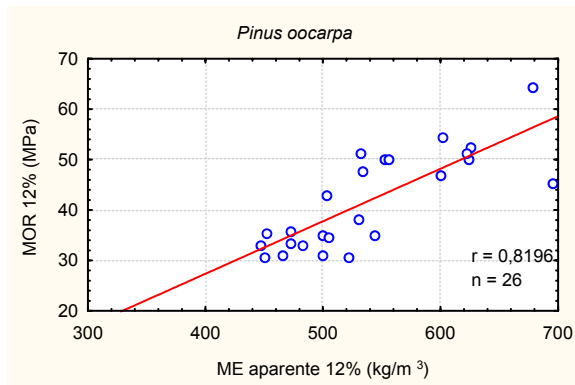
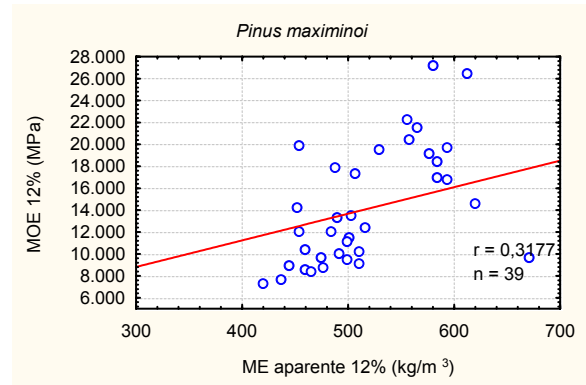
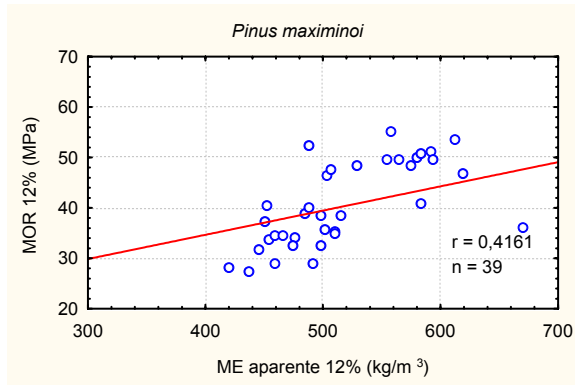
#### 6.3.2.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Compressão

O GRÁFICO 4 apresenta as regressões lineares a 95% de probabilidade entre as propriedades de resistência a compressão, com a massa específica aparente dos corpos de prova ensaiados.

GRÁFICO 4 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E MASSA ESPECÍFICA APARENTE 12% DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



## Continuação GRÁFICO 4....





A partir dos gráficos acima é possível verificar novamente a influência positiva da massa específica sobre as propriedades de compressão, conforme relatado por Kollmann e Cotê (1968), que afirmam que a resistência a compressão paralela esta linearmente relacionada com esta propriedade. Em decorrência da análise de regressão entre massa específica aparente e compressão obteve-se as equações lineares, sendo apresentadas na TABELA 15, com os respectivos coeficientes de correlação.

**TABELA 15 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE COMPRESSÃO E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS**

<b>Espécie</b>	<b>Equações</b>	<b>Correlação</b>
<i>P. c. bahamensis</i>	MOR 12% = - 20,6008 + 0,1152 x ME <sub>12%</sub>	0,9387
	MOE 12% = - 13891,6665 + 51,8723 x ME <sub>12%</sub>	0,7599
	MOR 12% = 109,3608 + 0,0023 x MOE <sub>12%</sub>	0,9170
	MOE 12% = - 25063,3665 + 370,9182 x MOR <sub>12%</sub>	0,9170
<i>P. c. caribaea</i>	MOR 12% = - 9,9496 + 0,092 x ME <sub>12%</sub>	0,7897
	MOE 12% = - 12305,2958 + 51,2229 x ME <sub>12%</sub>	0,7610
	MOR 12% = 151,0894 + 0,0015 x MOE <sub>12%</sub>	0,9277
	MOE 12% = - 70508,8826 + 562,4989 x MOR <sub>12%</sub>	0,9277
<i>P. c. hondurensis</i>	MOR 12% = - 7, 8041 + 0,0893 x ME <sub>12%</sub>	0,6736
	MOE 12% = - 5296,8371 + 34,4345 x ME <sub>12%</sub>	0,4845
	MOR 12% = 164,0676 + 0,0018 x MOE <sub>12%</sub>	0,8465
	MOE 12% = - 34344,9517 + 408,8619 x MOR <sub>12%</sub>	0,8465
<i>P. chiapensis</i>	MOR 12% = 10,2661 + 0, 0572 x ME <sub>12%</sub>	0,5826
	MOE 12% = 5763,0185 + 12,3303 x ME <sub>12%</sub>	0,2148
	MOR 12% = 237,5668 + 0,0011 x MOE <sub>12%</sub>	0,6791
	MOE 12% = - 33921,3305 + 409,8523 x MOR <sub>12%</sub>	0,6791
<i>P. maximinoi</i>	MOR 12% = 15,452+ 0,048 x ME <sub>12%</sub>	0,4161
	MOE 12% = 1537,8671 + 24,2568 x ME <sub>12%</sub>	0,3177
	MOR 12% = 219,689 + 0,0013 x MOE <sub>12%</sub>	0,8828
	MOE 12% = - 96798,0216 + 585,3652 x MOR <sub>12%</sub>	0,8828

<i>P. oocarpa</i>	MOR 12% = - 14,3043 + 0,1442 x ME <sub>12%</sub>	0,8196
	MOE 12% = - 6357,6263 + 36,3396 x ME <sub>12%</sub>	0,7323
	MOR 12% = 126,1771 + 0,0022 x MOE <sub>12%</sub>	0,8380
	MOE 12% = - 89,5768 + 321,656 x MOR <sub>12%</sub>	0,8380
<i>P. taeda</i> (testemunha)	MOR 12% = - 6,8166 + 0,0919 x ME <sub>12%</sub>	0,8485
	MOE 12% = - 9443,8647 + 44,7998 x ME <sub>12%</sub>	0,8002
	MOR 12% = 143,7254 + 0,002 x MOE <sub>12</sub>	0,9494
	MOE 12% = - 52254,2307 + 453,9268 x MOR <sub>12%</sub>	0,9494
<i>P. tecunumanii</i>	MOR 12% = - 12,1825 + 0,0969 x ME <sub>12%</sub>	0,8483
	MOE 12% = - 6440,6106 + 38,604 x ME <sub>12%</sub>	0,5965
	MOR 12% = 217,4479 + 0,0014 x MOE <sub>12</sub>	0,7985
	MOE 12% = - 44617,858 + 464,5797 x MOR <sub>12%</sub>	0,7985

Significativo a 95% de probabilidade.

ME<sub>12%</sub> = Massa Específica Aparente a 12%.

As relações entre Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade a partir do ensaio de compressão com a massa específica aparente mostram correlações positivas e significativas. Observa-se altas correlações para a maioria das espécies, sendo também em grande parte, superiores ao ensaio de flexão. Outro fato verificado, a partir da TABELA 15, é que em compressão a massa específica aparente correlacionou-se menos ao Módulo de Ruptura para todas as espécies, influenciando mais intensamente o Módulo de Elasticidade, ao contrário do que foi observado no ensaio de flexão estática.

#### 6.3.2.2 Influência do Teor de Umidade na Compressão

As relações estabelecidas entre teor de umidade e compressão paralela às fibras são demonstradas na TABELA 16.

TABELA 16 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Aumento do MOR verde a 12% (%)	Aumento do MOE verde a 12% (%)	Variação % MOR a cada 1% de variação no teor de umidade (%) PSF (30%) a 12%	Variação % MOR a cada 1% de variação no teor de umidade (%) PSF (30%) a 12%
<i>P.c.bahamensis</i>	34,93	46,30	1,94	1,94
<i>P. c. caribaea</i>	44,84	32,94	2,49	1,83
<i>P. c. hondurensis</i>	55,26	22,15	3,07	1,23
<i>P. chiapensis</i>	47,55	28,31	2,29	1,57
<i>P. maximinoi</i>	55,72	35,99	3,10	2,00
<i>P. oocarpa</i>	46,89	35,11	2,60	1,95
<i>P. taeda</i> (testemunha)	59,07	24,14	3,28	1,34
<i>P. tecunumanii</i>	50,11	27,97	2,78	1,55

Em média, as espécies avaliadas apresentaram um aumento médio de 48,50% no Módulo de Ruptura, quando a madeira passou do Ponto de Saturação das Fibras (30%), para 12% de umidade de equilíbrio. A espécie que mais evidenciou a influência do teor de umidade na resistência a compressão foi o *P. taeda*, com 59,07%, passando de 167 kgf/cm<sup>2</sup> para 408 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. O *P. caribaea* var. *hondurensis*, assim como no ensaio de flexão estática também apresentou elevado incremento em resistência com a redução do teor de umidade, acompanhado do *P. maximinoi*.

Em relação ao Módulo de Elasticidade, o acréscimo médio foi de 31,60%, e a variação mais acentuada foi o demonstrada pelo *P. tecunumanii*, com 46,30%. Exceto para o *P. caribaea* var. *bahamensis*, todas as espécies apresentaram aumento em menor proporção para o MOE do que para o MOR, condizendo com a teoria mencionada pelo USDA (1955), que relata que o teor de umidade exerce maior influência sobre as propriedades de resistência do que de rigidez.

Comparando-se os resultados de variação de resistência com variação do teor de umidade descritos na TABELA 16, com os recomendados pela USDA (1955),

nota-se diferenças entre os valores de ajuste. No presente trabalho após estabelecimento das relações entre propriedades de compressão e teor de umidade, verificou-se que os valores mais adequados para ajustar a resistência destas espécies são em média 3% para o MOR a cada 1% de variação da umidade e 2% para o MOE a cada variação de 1% de umidade.

### 6.3.3 Cisalhamento

Os resultados determinados a partir do ensaio de cisalhamento nos sentidos de corte tangencial e radial são apresentados na TABELA 17.

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )		Resistência ao Cisalhamento tangencial (MPa)		Resistência ao Cisalhamento radial (MPa)
	Verde	UE - 12%	Verde	UE - 12%	UE - 12%
<i>P. c. bahamensis</i>	921 a	491 d	7 ab	10 d	-
<i>P. c. caribaea</i>	906 a	431 e	6 c	9 f	-
<i>P.c. hondurensis</i>	688 b	498 cd	6 c	11 bcd	9 b
<i>P. chiapensis</i>	515 c	437 e	6 bc	9 ef	7 c
<i>P. maximinoi</i>	671 b	534 bc	7 bc	11 bc	10 a
<i>P. oocarpa</i>	657 b	564 ab	6 bc	12 a	10 a
<i>P. taeda</i> (testemunha)	691 b	532 bc	5 d	10 cde	9 ab
<i>P. tecunumanii</i>	659 b	588 a	7 a	11 ab	9 ab

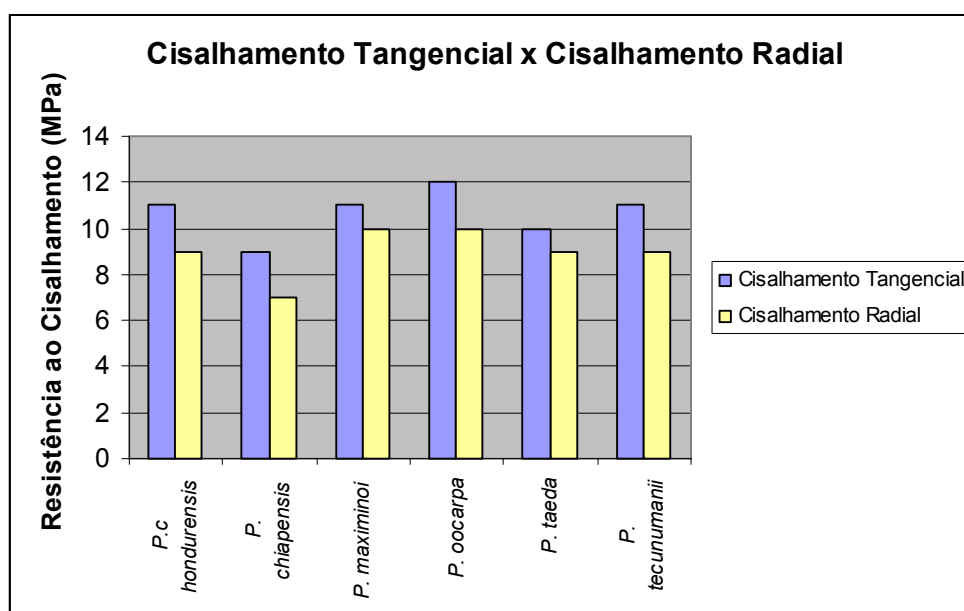
Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

De acordo com a TABELA 17, verifica-se a formação de várias classes de massa específica para as espécies testadas. Os melhores resultados para esta propriedade foram novamente os apresentados pelo *P. tecunumanii*, e os menores valores foram os demonstrados pelas espécies *P. caribaea* var. *caribaea* e *P.*

*chiapensis*. As classes de resistência ao cisalhamento estabelecidas na condição de ensaio verde não apresentaram uma relação linear adequada com as massas específicas, exceto para o *P. tecunumanii* que correlacionou à maior resistência verde com a maior massa específica aparente, e o *P. maximinoi* que mostrou uma relação intermediária entre as três propriedades iniciais. Para o ensaio de cisalhamento tangencial a 12%, houve grande variabilidade de resistência, podendo-se verificar a formação de vários grupos distintos. A maior resistência foi apresentada pelo *P. oocarpa*, seguida do *P. tecunumanii*, onde ambas não diferem estatisticamente entre si, porém diferem da testemunha. Os resultados mais baixos para esta propriedade, foram como nos outros ensaios, apresentados pelas espécies *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. chiapensis*, provavelmente em virtude dos menores valores para a propriedade de massa específica.

O cisalhamento radial demonstrou para todas as espécies, valores inferiores quando comparados ao cisalhamento tangencial. A magnitude desta diferença é em média de 17% e pode ser melhor visualizada no GRÁFICO 5.

GRÁFICO 5 – RELAÇÃO ENTRE CISALHAMENTO TANGENCIAL E RADIAL DE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



As maiores diferenças de resistência entre estes dois sentidos de corte é demonstrado pelo *P. chiapensis*, que apresentou-se 27% menor em relação ao corte tangencial. Os diferentes valores de resistência ao cisalhamento são explicados por

Kollmann e Cotê (1968), onde no sentido tangencial ocorre uma grande influência do crescimento, entre lenhos inicial e tardio, e no sentido radial, há interferência dos raios, resultando em menor resistência.

Comparando-se com valores disponíveis na literatura com por exemplo, com Lucas Filho (1997), verifica-se que este autor obteve para *P. taeda* com 21 anos, uma resistência ao cisalhamento de 7 MPa no sentido tangencial em amostras com umidade variando entre 10 e 20%. No sentido de corte radial, com teor de umidade semelhante, foi obtida uma resistência de 6 MPa. Em relação aos resultados obtidos neste trabalho, para o *P. taeda*, observa-se que a resistência foi superior para os dois sentidos, mesmo com idade inferior. Prováveis explicações podem ser descritas em função do método de ensaio utilizado, da grande variabilidade de umidade relatada por Lucas Filho (1997) para o ensaio com teor de umidade variando entre 10-20% e também pela massa específica, onde tal autor obteve para suas amostras uma massa específica aparente de 430 kg/m<sup>3</sup>, sendo esta muito inferior à encontrada neste estudo para a mesma espécie.

Klock (2000) avaliando esta propriedade em *P. maximinoi* e *P. taeda* obteve resistência ao cisalhamento tangencial para o *P. maximinoi* de 10 MPa e para o *P. taeda* 9 MPa. No sentido radial este autor obteve 8 MPa para ambas as espécies. Comparando com os resultados apresentados neste estudo com os obtidos por Klock (2000), e tendo em vista que as duas espécies são procedentes de mesmo sítio, porém com avaliação em diferentes idades, é possível afirmar que num espaço temporal de 8 anos houve um incremento de resistência no sentido tangencial de 9% e no sentido radial de 11% para ambas as espécies. Este fato evidencia o efeito positivo da idade nas propriedades da madeira.

Bodig e Jayne (1993) descrevendo resultados para o *P. oocarpa* desenvolvidos nos Estados Unidos, relatam que esta espécie apresentou resistência de 121 kgf/cm<sup>2</sup> (12 MPa), sendo igual ao valor determinado neste trabalho.

Moura, Vale e Oliveira (2005) caracterizando a madeira de *P. tecunumanii* com 18 anos obtiveram uma resistência ao cisalhamento de 100 kgf/cm<sup>2</sup> (10 MPa). O resultado obtido por tais autores é inferior ao relatado na TABELA 17. Novamente a provável explicação, assim como em compressão, pode ser dada em função da massa específica, onde os mesmos determinaram um valor de 450 kg/m<sup>3</sup> para a

massa específica básica e o obtido para as amostras ensaiadas neste trabalho foi 513 kg/m<sup>3</sup>.

Em relação aos resultados de Bortoletto (1993), a resistência ao cisalhamento determinada por este autor para o *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. oocarpa* e *P. taeda* foi superior em todas as espécies, com variação de 7%, 29%, 17%, 8% e 20% respectivamente.

A TABELA 18 apresenta os resultados médios por espécies, com o número de amostras ensaiadas e coeficientes de variação. Observa-se na referida tabela que o cisalhamento ensaiado em condições verdes apresentou altos coeficientes bem como elevada variabilidade entre espécies. Para o ensaio tangencial das amostras com umidade de equilíbrio o coeficiente de variação apresentou valores próximos e semelhantes aos mencionados pelo Forest Products Laboratory e inferiores aos estabelecidos por Lisboa, Matos e Melo (1993). Já o ensaio radial mostrou-se mais instável.

Em relação aos coeficientes de variação descritos na literatura para este ensaio, observa-se que os resultados foram compatíveis. Moura, Vale e Oliveira (2005), relatam um coeficiente de variação extremamente baixo para cisalhamento de *P. tecunumanii* com 18 anos (10%); Santini, Haselein e Gato (2000) apresentam um coeficiente de 16% para *P. taeda* com 13 anos, e Klock (2000) descreve um valor para esta estatística de 18%, também para o *P. taeda*, porém com 11 anos de idade. Bortoletto Junior (2008) obteve coeficiente de variação de 16% para *P. merkusii* com 26 anos, e Bortoletto Junior (1993) chega a encontrar coeficientes de até 21% para *P. caribaea* var. *hondurensis* com idade entre 10 e 25 anos. A partir dos resultados determinados neste estudo, é possível ainda estabelecer com este último autor, valores similares para as espécies *P. oocarpa* e *P. taeda*, sendo 14% e 16% e 11% e 12%.

Os diferentes coeficientes mencionados variam em função de vários fatores, podendo citar os mais importantes entre eles, como por exemplo, espécie, idade, local de origem e amostragem realizada.

TABELA 18 – RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS, VERDE E SECA A 12%

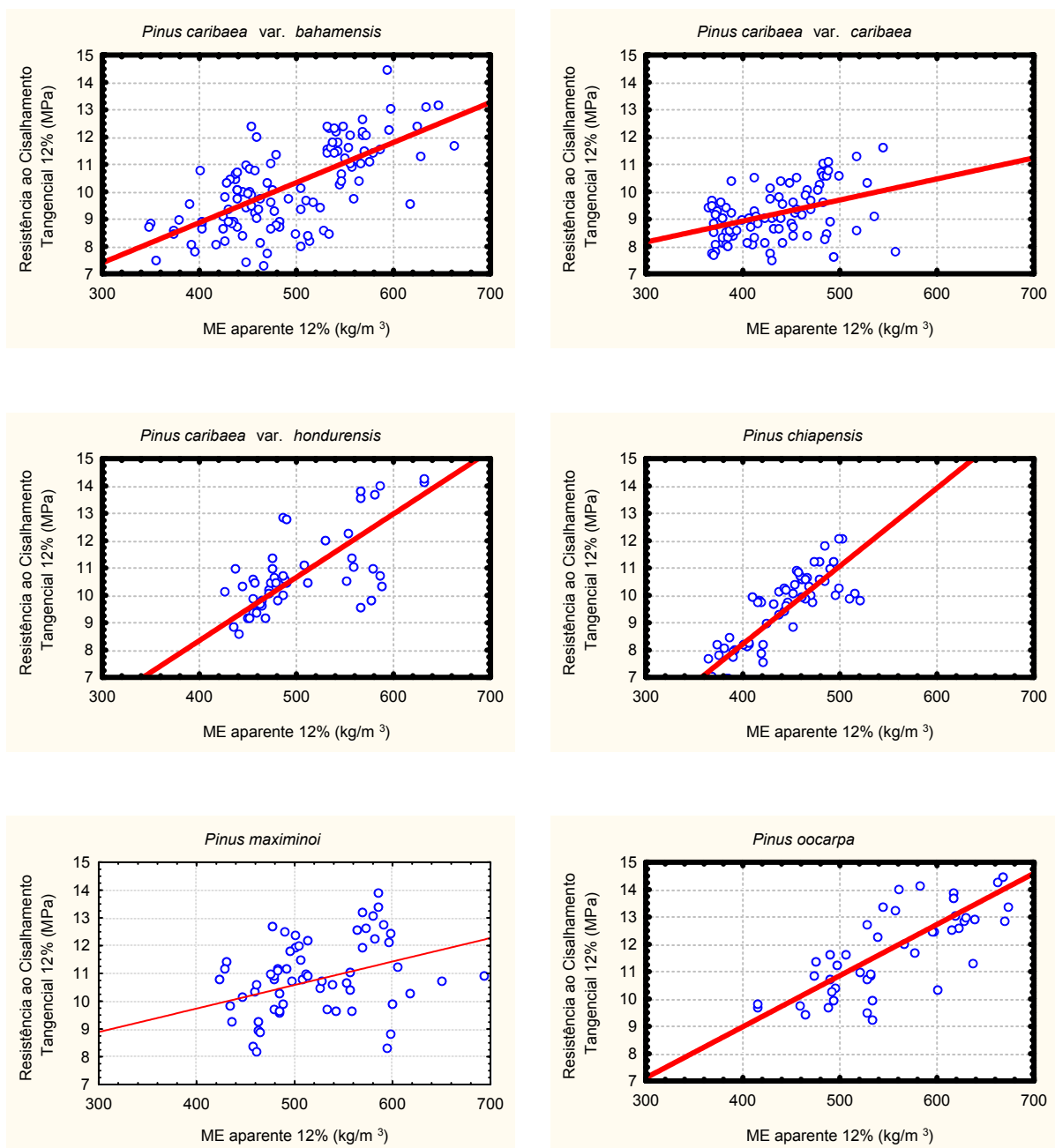
	ME verde (kg/m <sup>3</sup> )	ME 12% (kg/m <sup>3</sup> )	Cisalhamento Tangencial verde (MPa)	Cisalhamento Tangencial 12%(MPa)	Cisalhamento Radial 12%(MPa)
<i>Pinus c. bahamensis</i>					
Média	921	491	7	10	-
Número de Amostras	85	117	85	117	-
C. V (%)	8	14	19	14	-
<i>Pinus c. caribaea</i>					
Média	906	431	6	9	-
Número de Amostras	68	90	68	90	-
C. V (%)	9	11	12	10	-
<i>Pinus c. hondurensis</i>					
Média	688	498	6	11	9
Número de Amostras	46	83	46	53	30
C. V (%)	20	10	20	14	17
<i>Pinus chiapensis</i>					
Média	515	437	6	9	7
Número de Amostras	35	87	35	65	22
C. V (%)	15	10	13	15	15
<i>Pinus maximinoi</i>					
Média	671	534	7	11	10
Número de Amostras	48	89	48	68	21
C. V (%)	20	16	20	13	14
<i>Pinus oocarpa</i>					
Média	657	564	6	12	10
Número de Amostras	38	62	38	45	17
C. V (%)	22	12	27	14	24
<i>Pinus taeda</i> (testemunha)					
Média	691	532	5	10	9
Número de Amostras					
C. V (%)	15	15	22	11	18
<i>Pinus tecunumanii</i>					
Média	659	588	7	11	9
Número de Amostras	36	75	36	51	24
C. V (%)	14	13	19	16	14



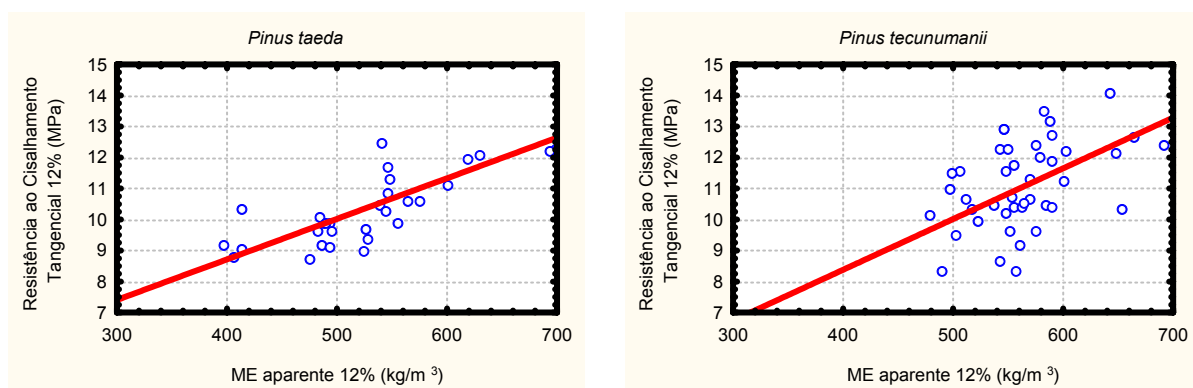
### 6.3.3.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Cisalhamento

O GRÁFICO 6 apresenta as regressões lineares a 95% de probabilidade entre a resistência ao Cisalhamento Tangencial e a massa específica aparente.

GRÁFICO 6 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



Continuação GRÁFICO 6 ...



As equações lineares e os coeficientes de correlação obtidos a partir dos Gráficos acima, são apresentadas na TABELA 19.

TABELA 19 – REGRESSÕES LINEARES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO TANGENCIAL E A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

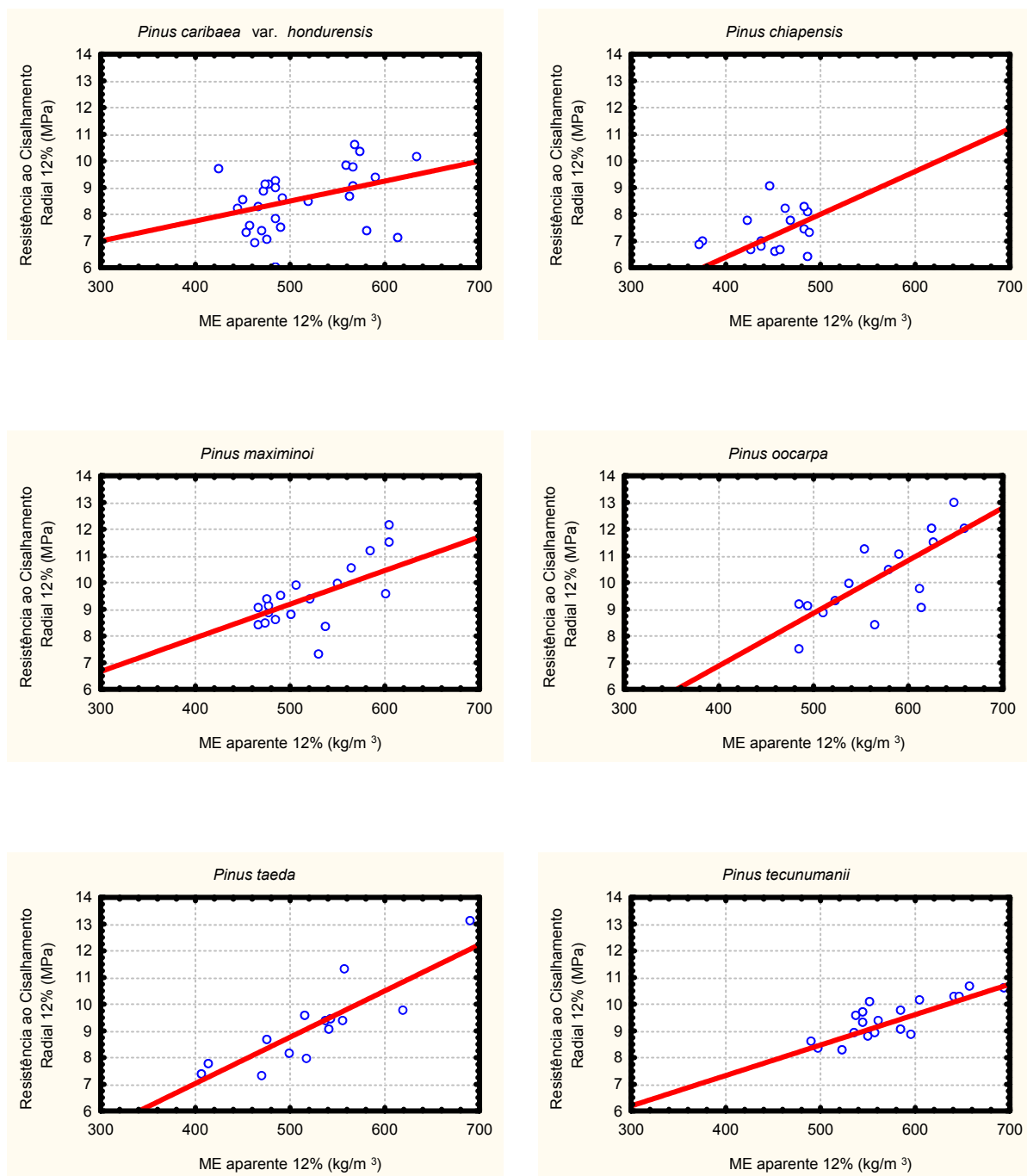
Espécie	Equações	Correlação
<i>P. c. bahamensis</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 3,0022 + 0,0147 \times \text{ME}_{12\%}$	0,6979*
<i>P. c. caribaea</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 5,8492 + 0,0077 \times \text{ME}_{12\%}$	0,3816*
<i>P. c. hondurensis</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = - 0,9224 + 0,0232 \times \text{ME}_{12\%}$	0,6371 *
<i>P. chiapensis</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = - 3,1925 + 0,0285 \times \text{ME}_{12\%}$	0,7016*
<i>P. maximinoi</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 6,3501 + 0,0085 \times \text{ME}_{12\%}$	0,3873*
<i>P. oocarpa</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 1,5016 + 0,0187 \times \text{ME}_{12\%}$	0,7767*
<i>P. taeda</i> (testemunha)	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 3,4838 + 0,0131 \times \text{ME}_{12\%}$	0,8201*
<i>P. tecunumanii</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 1,8352 + 0,0164 \times \text{ME}_{12\%}$	0,5892*

\* Significativo a 95% de probabilidade.

ME<sub>12%</sub> = Massa Específica Aparente a 12%.

A seguir é apresentado o GRÁFICO 7 com as regressões lineares entre a Resistência ao Cisalhamento Radial e a massa específica aparente para seis espécies de Pinus Tropicais.

## GRÁFICO 7 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RADIAL E A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE CINCO ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



As equações lineares e os coeficientes de correlação obtidos a partir do ensaio de cisalhamento radial são apresentados na TABELA 20.

TABELA 20 – REGRESSÕES LINEARES DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO RADIAL E A MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE CINCO ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Equações	Correlação
<i>P. c. hondurensis</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 4,7616 + 0,0075 \times \text{ME}_{12\%}$	0,3709*
<i>P. chiapensis</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = -0,0233 + 0,0161 \times \text{ME}_{12\%}$	0,6494*
<i>P. maximinoi</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 2,891 + 0,0126 \times \text{ME}_{12\%}$	0,7606*
<i>P. oocarpa</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = -1,0125 + 0,01797 \times \text{ME}_{12\%}$	0,7640*
<i>P. taeda</i> (testemunha)	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 0,095 + 0,0173 \times \text{ME}_{12\%}$	0,8866*
<i>P. tecunumanii</i>	$\sigma_{\text{Cisalhamento}} = 2,7693 + 0,014 \times \text{ME}_{12\%}$	0,5504*

\* Significativo a 95% de probabilidade.

ME<sub>12%</sub> = Massa Específica Aparente a 12%.

Os coeficientes de correlação determinados através das regressões mostram-se variáveis, e na maioria das espécies inferiores aos verificados entre nos ensaios de flexão estática e compressão paralela, indicando desta forma, menor influência da massa específica sobre esta propriedade.

Considerando a literatura, verifica-se que os coeficientes de correlação entre cisalhamento e massa específica não são tão elevados quanto para flexão e compressão. Lucas Filho (1997) obteve correlações de 0,43 para o cisalhamento tangencial e 0,27 para o radial, concluindo que a massa específica não é uma boa indicadora para tal propriedade. Já Klock (2000) encontrou valores superiores, porém não tão significativos quanto aos obtidos nos ensaios de flexão e compressão.

Bodig e Jayne (1993) relatam que há grande dificuldade em se obter ensaios puros de cisalhamento na madeira, visto que outras tensões podem atuar, como por exemplo compressão, especialmente em coníferas, devido a configuração dos anéis de crescimento.

De maneira geral, é possível concluir que exceto o *P. caribaea* var. *caribaea* (0,3816) e o *P. maximinoi* (0,3873) no ensaio tangencial e o *P. caribaea* var.

*hondurensis* no ensaio radial (0,3709), as demais espécies demonstraram correlação significativa entre massa específica aparente e resistência ao cisalhamento.

#### 6.3.3.2 Influência do Teor de Umidade no Cisalhamento

As relações entre resistência ao cisalhamento tangencial a partir das duas condições são apresentadas no GRÁFICO 8, e quantificadas na TABELA 21.

GRÁFICO 8 – RELAÇÃO ENTRE CISALHAMENTO TANGENCIAL 12% E VERDE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

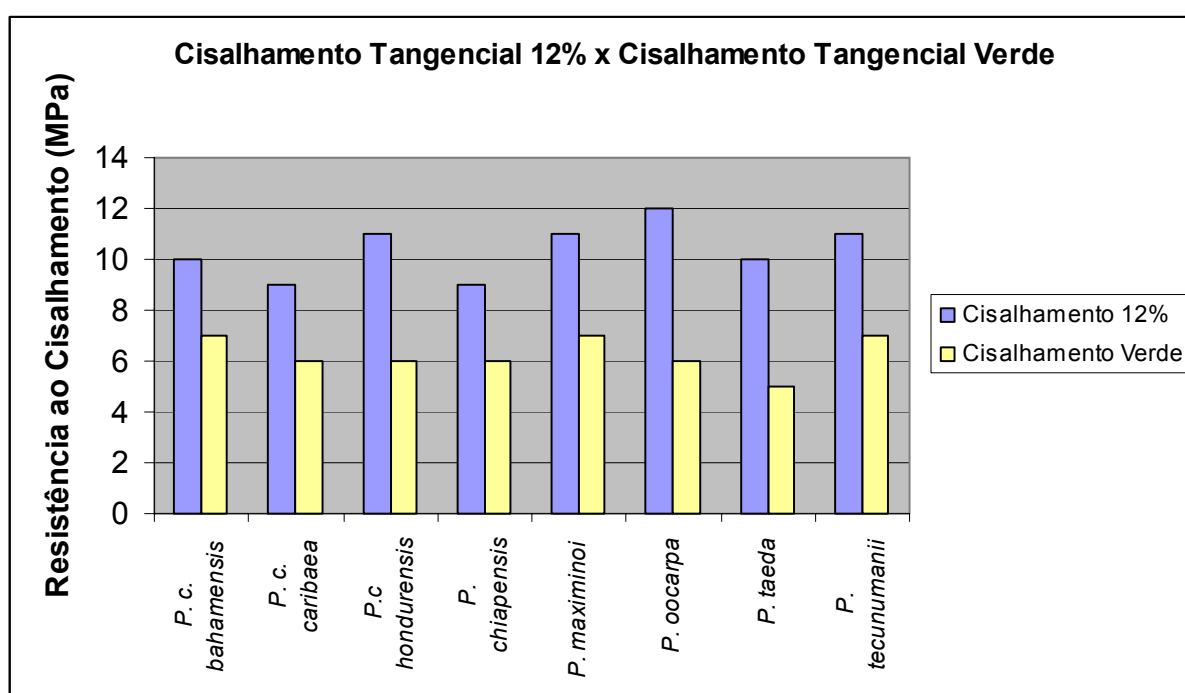


TABELA 21 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E CISALHAMENTO TANGENCIAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Aumento da resistência ao Cisalhamento de verde a 12% (%)	Variação % Resistência a cada 1% de variação no teor de umidade (%)
<i>P.c.bahamensis</i>	32,69	1,82
<i>P. c. caribaea</i>	31,91	1,77
<i>P. c. hondurensis</i>	44,55	2,47
<i>P. chiapensis</i>	34,38	1,91
<i>P. maximinoi</i>	40,18	2,23
<i>P. oocarpa</i>	48,36	2,69
<i>P. taeda</i> (testemunha)	50,48	2,80
<i>P. tecunumanii</i>	37,29	2,07

Em média as espécies analisadas apresentaram um aumento médio da resistência ao cisalhamento tangencial quando a madeira passou da condição verde até 12% de umidade de 39,98%. O *P. taeda* foi a espécie que mais se mostrou afetada com a variação de umidade, sendo que com a secagem o aumento na resistência foi de aproximadamente 50,48%. A espécie menos susceptível a variação de umidade foi o *P. caribaea* var. *caribaea*, provavelmente pela menor massa específica entre as espécies.

Para este mesmo sentido de corte, Lucas Filho (1997) encontrou valores de resistência de 4 MPa para o *P. taeda* com teor de umidade acima de 30% e aproximadamente 6 MPa para umidade entre 10 e 20%. Aparentemente o incremento de resistência com a secagem foi menor (33%), porém este valor não deve ser usado para comparação tendo em vista a ampla variação de umidade utilizada pelo autor no segundo caso.

Em relação à correção efetuada e os valores propostos pela USDA (1955) que é 3% para o ensaio para cisalhamento tangencial, verifica-se de acordo com a TABELA 21 que os fatores de ajuste são próximos, porém o fator de correção mais adequado para a maioria das espécies fica em torno de 2,22%. Diferenças relacionadas aos fatores de ajuste são muito provavelmente justificadas pela espécies utilizadas na composição dos mesmos, bem como pelo habitat de crescimento, no entanto, alguns cuidados devem ser adotados tendo em vista a super estimativa dos valores de resistência em função da variação da umidade.

#### 6.3.4 Dureza

Os resultados médios obtidos para o ensaio mecânico de Dureza das espécies de Pinus tropicais, assim como a massa específica verde e aparente das amostras testadas são apresentadas na TABELA 22.

TABELA 22 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE E DUREZA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

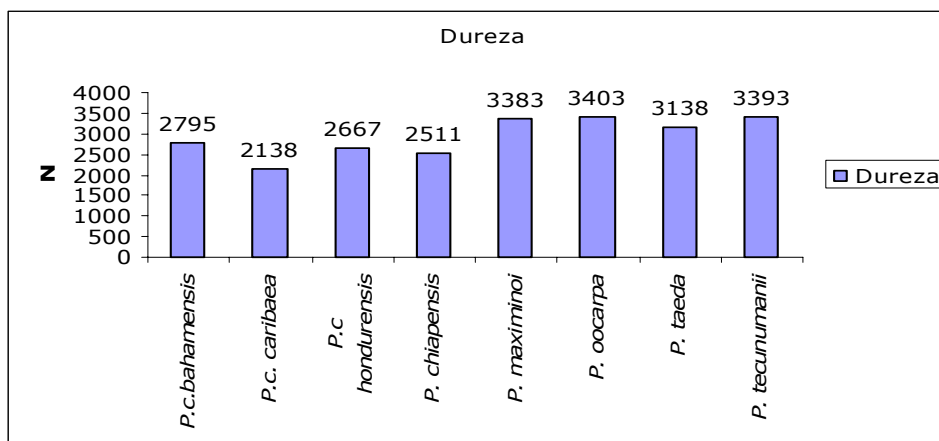
Espécie	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )		Dureza (N)	
	Verde	UE-12%	Verde	UE-12%
<i>P. c. bahamensis</i>	888 a	460 cde	2206 ab	2795 bc
<i>P. c. caribaea</i>	843 abc	421 e	1785 de	2138 d
<i>P. c. hondurensis</i>	793 c	472 bcd	1775 de	2667 c
<i>P. chiapensis</i>	647 d	436 de	1628 e	2511 c
<i>P. maximinoi</i>	872 ab	533 a	1952 cd	3383 a
<i>P. oocarpa</i>	780 c	512 ab	2108 bc	3403 a
<i>P. taeda</i>	785 bc	488 abc	1746 de	3138 ab
<i>P. tecunumanii</i>	796 c	536 a	2363 a	3393 a

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

Ao analisar-se a TABELA 22 identificam-se as classes de massa específica, onde novamente o *P. tecunumanii*, o *P. maximinoi* e o *P. oocarpa*, compõem a classe superior, ambas não diferindo estatisticamente da testemunha. O *P. caribaea* var. *caribaea*, assim como o *P. chiapensis* demonstraram também neste ensaio a menor massa específica, podendo-se concluir que a baixa quantidade de material lenhoso tende a ser uma característica da espécie.

Para melhor visualizar o comportamento das espécies no ensaio de dureza é apresentado o GRÁFICO 9, que representa o valor médio obtido à umidade de 12%.

GRÁFICO 9 – VALORES MÉDIOS DE DUREZA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



De acordo com o gráfico, nota-se que as espécies que apresentaram maiores valores de dureza média foram o *P. maximinoi*, o *P. tecunumanii* e o *P. oocarpa*. De acordo com a TABELA 23, estas três espécies também apresentaram maior massa específica aparente. Para as demais espécies também houve a uma relação positiva da dureza com a massa específica.

A relação dos valores médios da dureza de acordo com as faces de aplicação da carga é apresentada na TABELA 23.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )		Dureza tangencial (N)		Dureza radial (N)		Dureza longitudinal (N)	
	Verde	UE-12%	Verde	UE-12%	Verde	UE-12%	Verde	UE-12%
<i>P. c. bahamensis</i>	888 a	460 cde	2.118 ab	2.344 bc	1.932 ab	2.412 cd	2.461 a	3.442 bc
<i>P. c. caribaea</i>	843 abc	421 e	1.687 cd	1.706 d	1.716 bc	1.991 d	1.932 b	2.609d
<i>P. c. hondurensis</i>	793 c	472 bcd	1.628 cd	2.422 bc	1.667 bc	2.334 cd	1.804 b	3.266 bc
<i>P. chiapensis</i>	647 d	436 de	1.520 d	2.128 cd	1.520 c	2.206 cd	1.814 b	3.207 c
<i>P. maximinoi</i>	872 ab	533 a	1.902 abcd	3.079 a	1.795 bc	3.040 ab	2.148 ab	4.099 a
<i>P. oocarpa</i>	780 c	512 ab	1.971 abc	2.883 ab	2.099 a	3.040 ab	2.236 ab	4.138 a
<i>P. taeda</i> (testemunha)	785 bc	488 abc	1.667 bcd	2.599 abc	1.540 c	2.589 bc	1.991 ab	3.981 ab
<i>P. tecunumanii</i>	796 c	536 a	2.187 a	3.040 a	2.167 a	3.285 a	2.501 a	3.756 ab

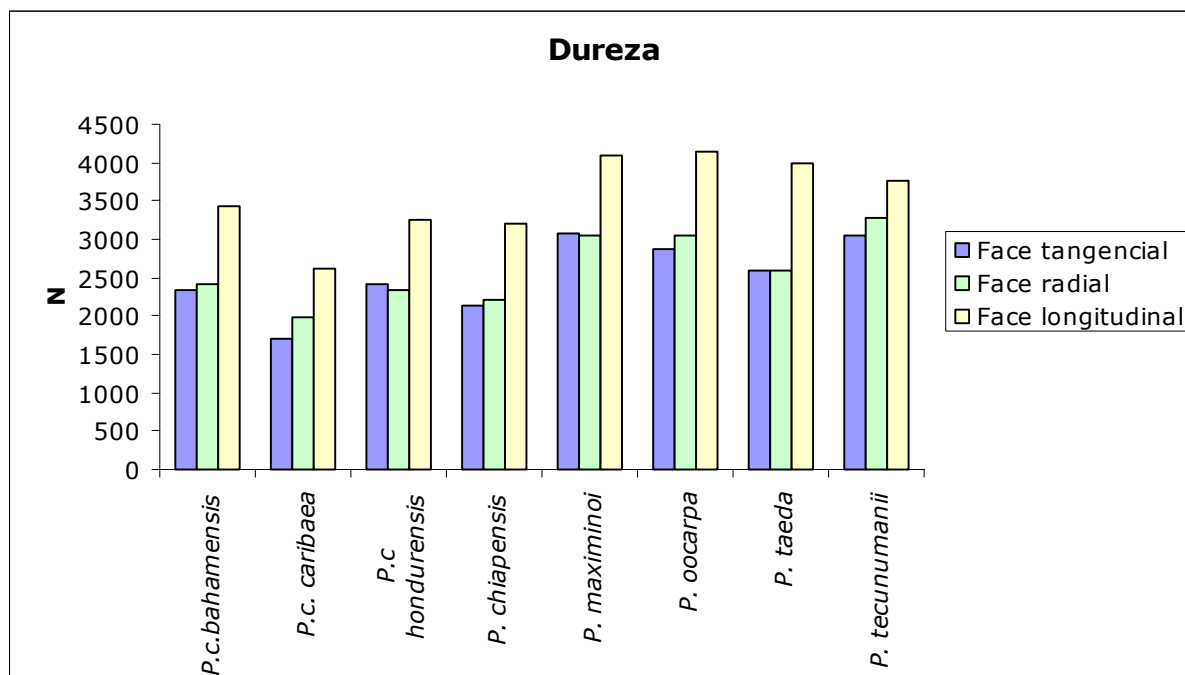
Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

É possível observar que para quase todas as espécies a dureza longitudinal foi maior que a dureza radial, e esta maior que a tangencial. As exceções ocorreram com as espécies *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. maximinoi* e *P. taeda*, sendo porém por pequenas diferenças entre os sentidos radial e tangencial.



Uma melhor visualização do comportamento destas espécies de acordo com a face de aplicação da carga pode ser evidenciada no GRÁFICO 10.

GRÁFICO 10 – VALORES MÉDIOS DE DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



A análise da variabilidade da dureza a partir das diferentes faces de aplicação de carga é efetuada a partir da TABELA 24, que demonstra os resultados obtidos com desvios padrões e coeficiente de variação.

Nota-se a partir desta tabela que os coeficientes de variação foram extremamente elevados e excederam em todas as situações de ensaio e de espécies os coeficientes considerados adequados pelo Forest Products Laboratory e por Lisboa, Matos e Melo (1993), que varia entre 17% e 20%. Uma provável justificativa para a alta variabilidade neste ensaio pode ser dada em função das faixas de lenho tardio, que pela sua alta massa específica aumentam a resistência a penetração da semi-esfera e o contrário ocorre, caso o corpo de prova apresente na face a ser testada exclusivamente uma região de lenho inicial.

TABELA 24 - RESULTADOS MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA E DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, NÚMERO DE AMOSTRAS E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

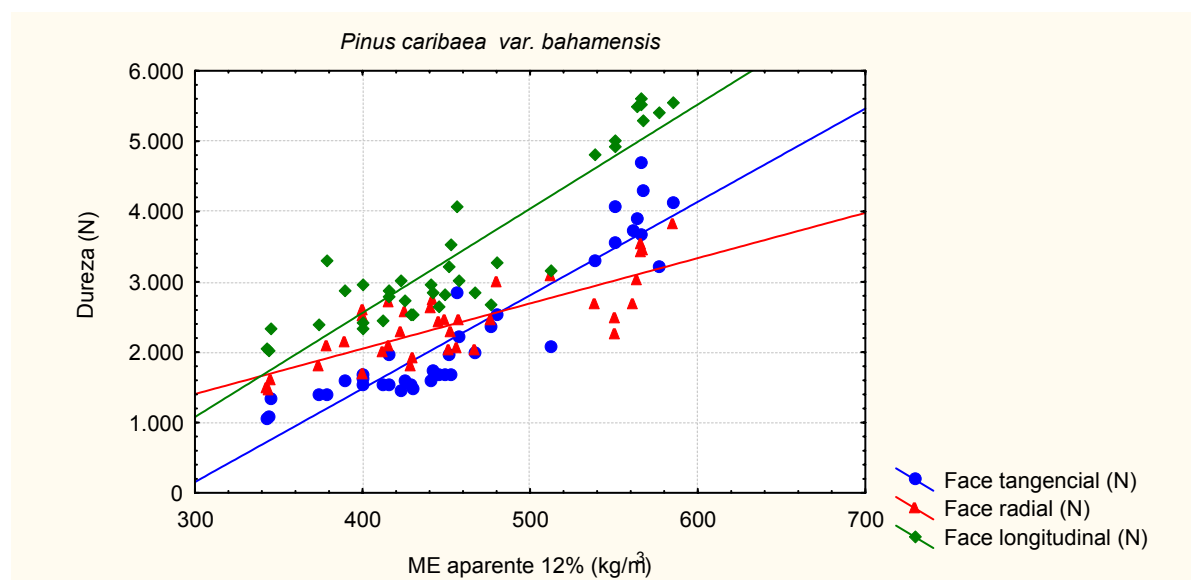
	ME 12% (kg/m <sup>3</sup> )	ME verde (kg/m <sup>3</sup> )	Dureza Tangencial 12%(N)	Dureza Tangencial verde (N)	Dureza Radial 12%(N)	Dureza Radial verde (N)	Dureza Longitudinal 12%(N)	Dureza Longitudinal verde (N)
<i>Pinus c. bahamensis</i>								
Média	460	888	2.118	2.344	1.932	2.412	2.461	3.442
Número de Amostras	39	43	39	43	39	43	39	43
C. V (%)	16	8	47	33	24	22	34	38
<i>P. c. caribaea</i>								
Média	421	843	1.687	1.706	1.716	1.991	1.932	2.609
Número de Amostras	32	39	32	39	32	39	32	39
C. V (%)	8	8	20	36	20	19	16	23
<i>P. c. hondurensis</i>								
Média	472	793	1.628	2.422	1.667	2.334	1.804	3.266
Número de Amostras	32	35	32	35	32	35	32	35
C. V (%)	13	15	27	27	23	22	20	21
<i>Pinus chiapensis</i>								
Média	436	647	1,520	2,128	1,520	2.206	1.814	3.207
Número de Amostras	49	38	49	38	49	38	49	38
C. V (%)	11	14	25	27	25	27	19	20
<i>Pinus maximinoi</i>								
Média	533	872	1.902	3.079	1.795	3.040	2.148	4.099
Número de Amostras	36	40	36	40	36	40	36	40
C. V (%)	12	14	27	25	19	21	20	19
<i>Pinus oocarpa</i>								
Média	512	780	1.971	2.883	2.099	3.040	2.236	4.138
Número de Amostras	36	40	36	40	36	40	36	40
C. V (%)	12	19	31	33	27	28	24	25
<i>Pinus taeda</i> (testemunha)								
Média	488	785	1.667	2.599	1.540	2.589	1.991	3.981
Número de Amostras	20	18	20	18	20	18	20	18
C. V (%)	13	10	30	22	29	31	18	26
<i>Pinus tecunumanii</i>								
Média	536	796	2.187	3.040	2.167	3.285	2.501	3.756
Número de Amostras	39	40	39	40	39	40	39	40
C. V (%)	9	18	30	34	23	21	22	34

Altos coeficientes de variação foram obtidos por Klock (2000) em estudo da qualidade da madeira de *Pinus spp.* com valores entre 23 e 29%. Santini (2000), também corrobora a elevada instabilidade no ensaio de dureza com coeficientes de variação de até 26%. Desta forma, embora seja desejável baixos coeficientes de variação para esta propriedade, admite-se aceitáveis tais valores, tendo em vista a explicação anteriormente mencionada e a elevada heterogeneidade deste material.

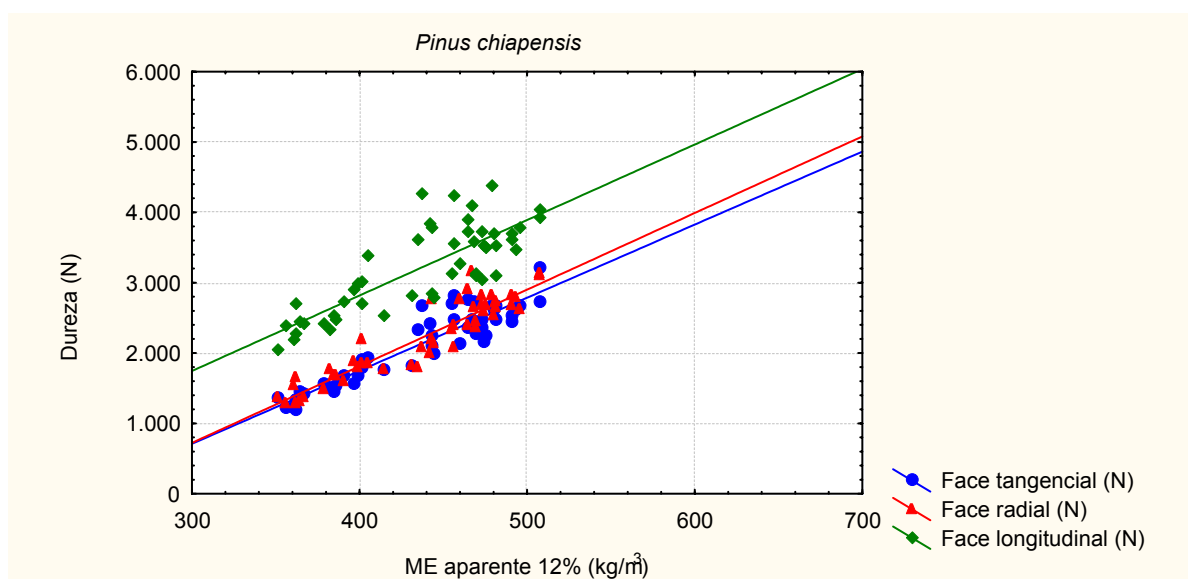
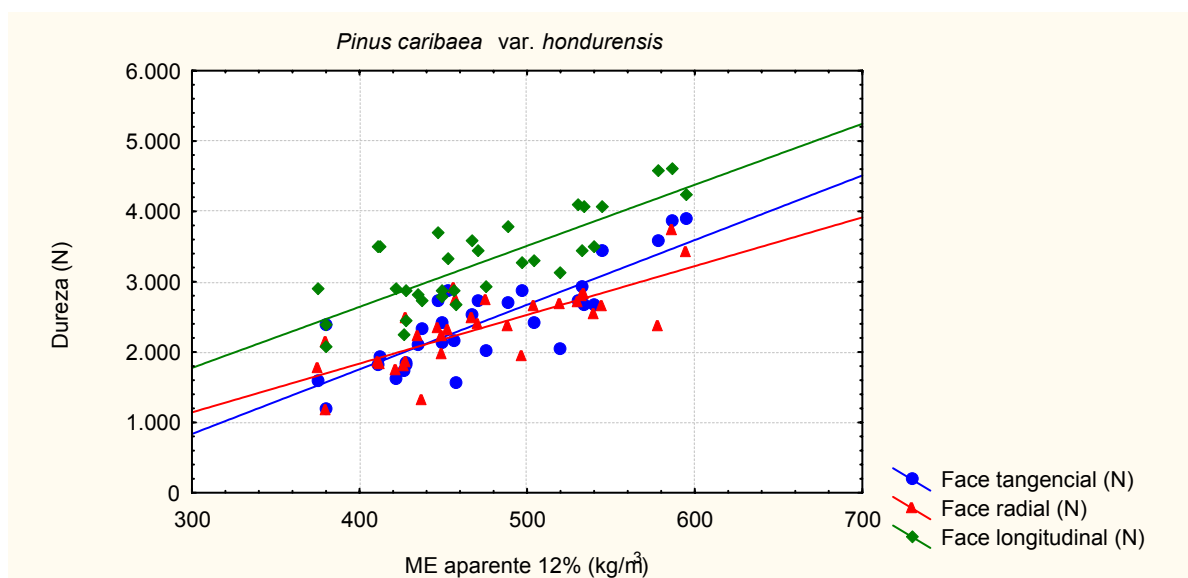
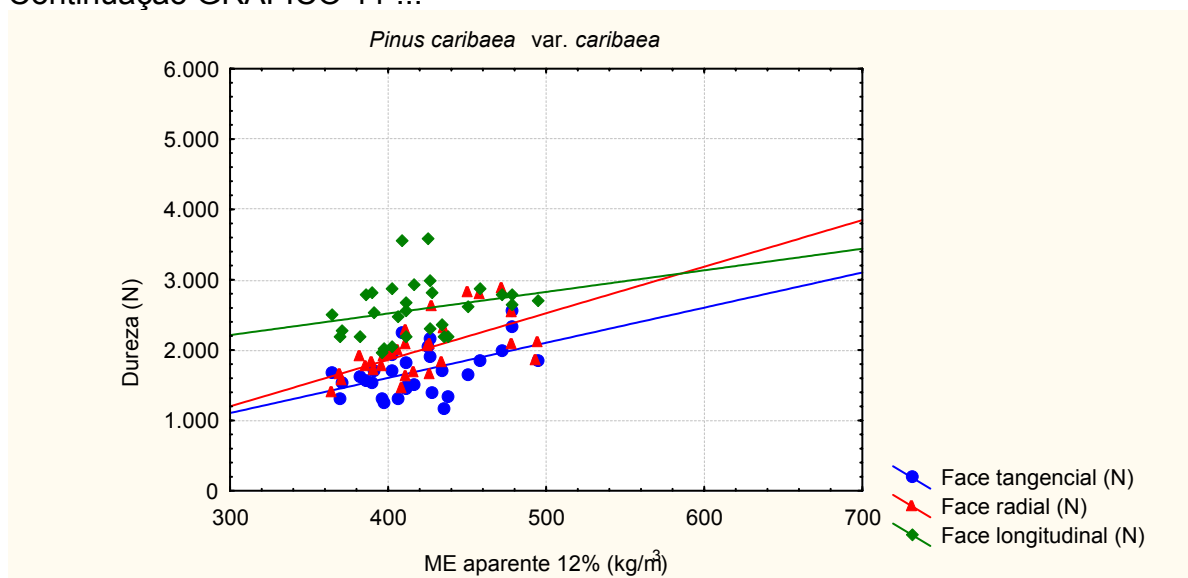
#### 6.4.3.1 Correlação entre Massa Específica Aparente e Dureza

O GRÁFICO 11 demonstra as regressões lineares obtidas a partir das propriedades de dureza e massa específica aparente.

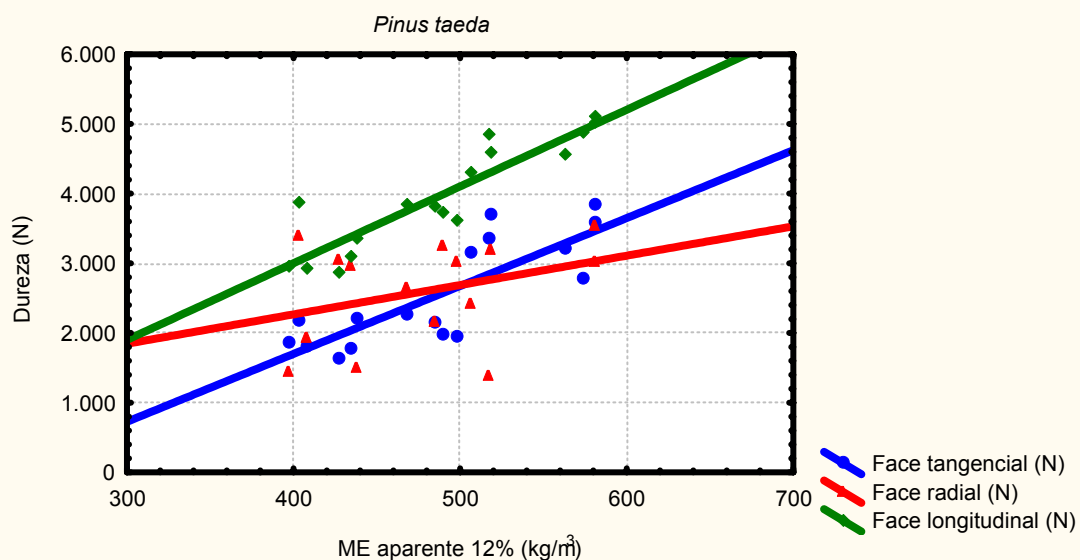
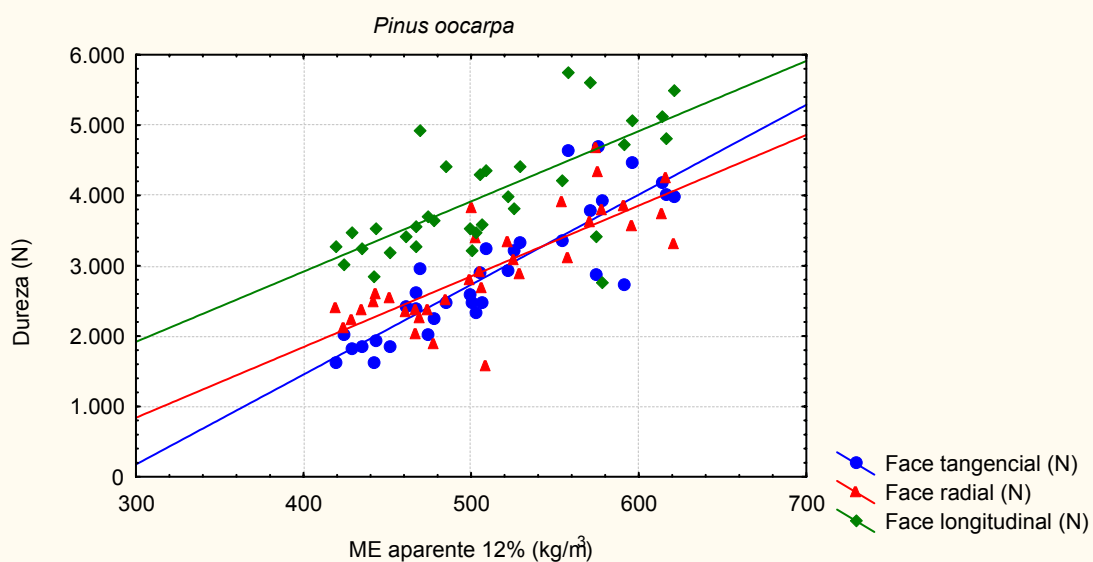
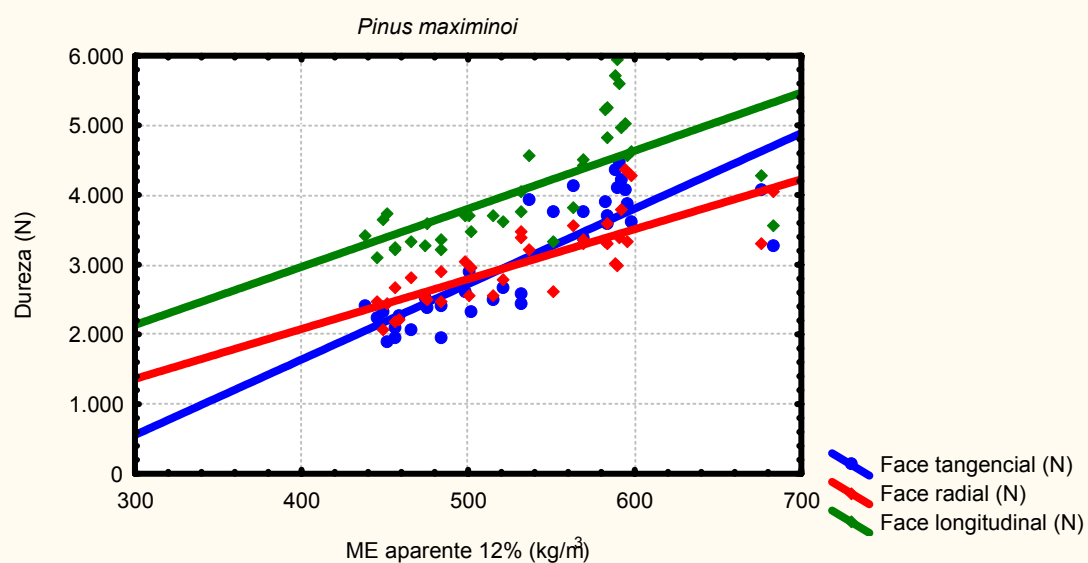
GRÁFICO 11 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE DUREZA TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS



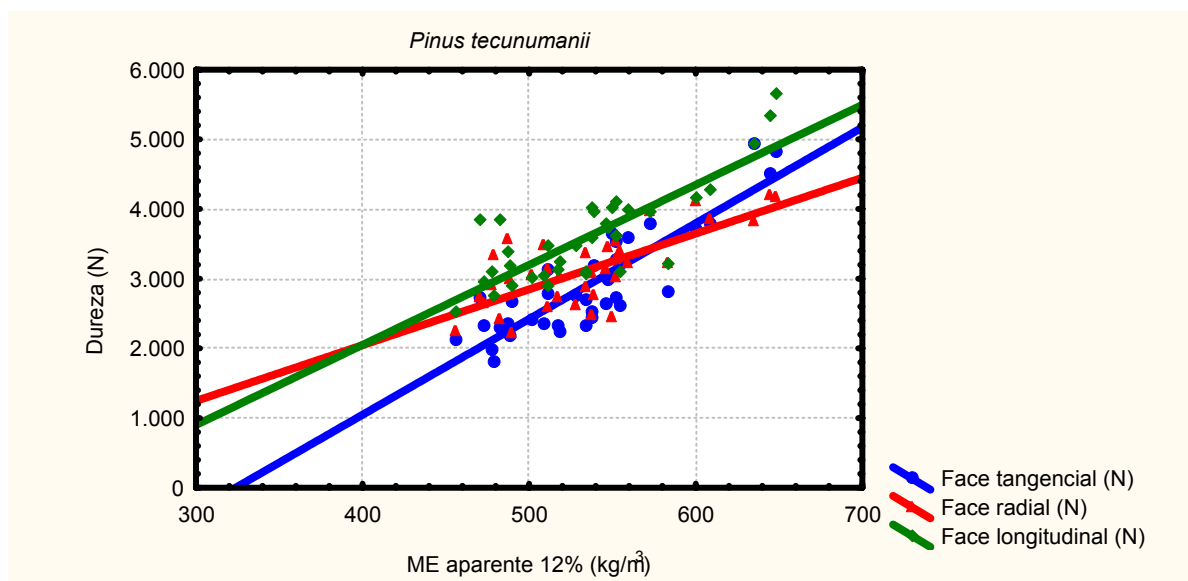
Continuação GRÁFICO 11 ...



Continuação GRÁFICO 11 ...



Continuação GRÁFICO 11 ...



A TABELA 25 apresenta as equações lineares obtidas a partir da análise de regressão, com seus respectivos coeficientes de correlação.

TABELA 25 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE DUREZA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

Espécie	Equações	Correlação
<i>P. c. bahamensis</i>	$D_{tg} = - 3825,906 + 13,2699 \times ME_{12\%}$ $D_{rd} = - 525,3288 + 6,4367 \times ME_{12\%}$ $D_{lg} = - 363,7354 + 14,8065 \times ME_{12\%}$	0,9239* 0,7990* 0,9034*
<i>P. c. caribaea</i>	$D_{tg} = - 392,231 + 4,9928 \times ME_{12\%}$ $D_{rd} = - 782,7369 + 6,6138 \times ME_{12\%}$ $D_{lg} = 1293,3775 + 3,0673 \times ME_{12\%}$	0,4653* 0,6571* 0,2915*
<i>P. c. hondurensis</i>	$D_{tg} = - 1919,3487 + 9,1851 \times ME_{12\%}$ $D_{rd} = - 934,972 + 6,9278 \times ME_{12\%}$ $D_{lg} = - 827,6811 + 8,6756 \times ME_{12\%}$	0,8285* 0,7852* 0,8127*
<i>P. chiapensis</i>	$D_{tg} = - 2405,5988 + 10,38538 \times ME_{12\%}$ $D_{rd} = - 2543,1964 + 10,7292 \times ME_{12\%}$ $D_{lg} = - 1473,8285 + 10,7292 \times ME_{12\%}$	0,9261* 0,9263* 0,8063*
<i>P. maximinoi</i>	$D_{tg} = - 2692,1548 + 10,829 \times ME_{12\%}$ $D_{rd} = - 786,7485 + 7,1613 \times ME_{12\%}$ $D_{lg} = - 365,1535 + 8,3356 \times ME_{12\%}$	0,8279* 0,7843* 0,6563*

Continuação TABELA 25 ...

<i>P. oocarpa</i>	$D_{tg} = - 3658,2809 + 12,7799 \times ME_{12\%}$	0,8681*
	$D_{rd} = - 2174,9797 + 10,0496 \times ME_{12\%}$	0,7905*
	$D_{lg} = - 1075,765 + 9,9813 \times ME_{12\%}$	0,6735*
<i>P. taeda</i> (testemunha)	$D_{tg} = - 2196,5106 + 9,7432 \times ME_{12\%}$	0,8341*
	$D_{rd} = 582,0441 + 4,2136 \times ME_{12\%}$	0,3365*
	$D_{lg} = - 1401,3636 + 11,0095 \times ME_{12\%}$	0,8937*
<i>P. tecunumanii</i>	$D_{tg} = - 4449,1257 + 13,7425 \times ME_{12\%}$	0,8766*
	$D_{rd} = - 1155,4319 + 8,0066 \times ME_{12\%}$	0,7279*
	$D_{lg} = - 2544,2315 + 11,4867 \times ME_{12\%}$	0,8094*

\* Significativo a 95% de probabilidade.

$ME_{12\%}$  = Massa Específica Aparente a 12%.

Os coeficientes obtidos a partir das regressões de dureza mostram se elevados em praticamente todos os casos, comprovando a alta influência da massa específica sobre esta propriedade.

#### 6.3.4.2 Influência do Teor de Umidade na Dureza

As relações estabelecidas entre o teor de umidade e a dureza nas diferentes faces, são descritas na TABELA 26.

Em média as espécies de *Pinus* apresentaram um aumento médio da resistência a dureza quando a madeira passou da condição verde até 12% de umidade de 31,89% sendo 25,74 % na face tangencial, 29,99 na face radial e 39,95 na face longitudinal.

O *P. taeda* foi a espécie que mais se mostrou afetada com a variação de umidade, com aumento médio de 42,13%. A espécie que sofreu influência com menor intensidade foi o *P. caribaea* var. *caribaea*, com uma aumento de 13,63%.

Em relação à correção efetuada e os valores propostos pela USDA (1955) que é 4% para a aplicação de carga na face tangencial, verifica-se que os fatores de ajuste diferem em 64%. A diferença de correção para a face radial é um pouco mais compatível, sendo 2,5% (USDA, 1955) e 1,67% neste estudo. Para a face longitudinal, embora não sejam propostos valores de ajuste pela USDA (1955), o valor recomendado para estas espécies a partir deste trabalho é de 2,22% a cada 1% de variação no teor de umidade.

TABELA 26 – RELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E DUREZA DE SETE ESPÉCIES DE PINUS TROPICAIS

<b>Espécie</b>	<b>Aumento <math>D_{tg}</math> verde a 12% (%)</b>	<b>Aumento <math>D_{rd}</math> Verde a 12% (%)</b>	<b>Aumento <math>D_{lg}</math> verde a 12% (%)</b>	<b>Variação % <math>D_{tg}</math> a cada 1% de variação no teor de umidade (%)</b>	<b>Variação % <math>D_{rd}</math> a cada 1% de variação no teor de umidade (%)</b>	<b>Variação % <math>D_{lg}</math> a cada 1% de variação no teor de umidade (%)</b>
<i>P.c.bahamensis</i>	9,62	19,92	28,49	0,53	1,11	1,58
<i>P. c. caribaea</i>	1,15	13,79	25,94	0,06	0,77	1,44
<i>P. c. hondurensis</i>	32,79	28,57	44,74	1,82	1,59	2,49
<i>P. chiapensis</i>	28,57	31,11	43,43	1,59	1,73	2,41
<i>P. maximinoi</i>	38,22	10,97	47,61	2,12	2,28	2,64
<i>P. oocarpa</i>	31,63	30,97	45,97	1,76	1,72	2,55
<i>P. taeda</i> (testemunha)	35,85	40,53	50,00	1,99	2,25	2,78
<i>P. tecunumanii</i>	25,74	34,03	33,42	1,56	1,89	1,86



#### 6.4 TABELA DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA ESPÉCIES DE *Pinus*

TABELA 27 – VALORES DE REFERÊNCIA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE *Pinus*

Espécie	Idade (anos)	ME básica (kg/m <sup>3</sup> )	Flexão		Compressão		Cisalhamento (MPa)	Dureza (N)	Fonte
			MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)			
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	10-25	-	59	6.431	32	6.705	11	-	Bortoletto Junior (1993)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	17	412	63	6.568	33	9.550	10	2795	LTM (2009)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	10-25	-	59	6.431	35	8.332	13	-	Bortoletto Junior (1993)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	17	374	56	6.060	30	10.480	9	2138	LTM (2009)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	10-25	-	61	8.876	41	9.409	13	-	10-25
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	18	431	64	7.206	36	11.324	11	2667	LTM (2009)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	18	450	71	10.842	37	9.959	-	-	Klock (1989)
<i>P. chiapensis</i>	18	377	61	7.590	36	11.546	9	2511	LTM (2009)
<i>P. elliottii</i>	13	410	54	7.185	29	7.211	8	2.788	Haselein <i>et all</i> (2000)
<i>P. elliottii</i>	10-25	-	70	10.632	40	11.183	12	-	Bortoletto Junior (1993)
<i>P. maximinoi</i>	11		66	8.337	24	6.867	10	2.723	Klock (2000)
<i>P. maximinoi</i>	18	443	70	9.045	40	14.133	11	3383	LTM (2009)
<i>P. merkusii</i>	26	438	74	11.569	44	12.872	11	-	Bortoletto Junior (2008)
<i>P. oocarpa</i>	14	450	-	-	-	-	-	-	Mendes <i>et all</i> (2001)
<i>P. oocarpa</i>	18	445	68	7.788	41	13.597	12	3.403	LTM (2009)
<i>P. oocarpa</i>	18	440	68	10.029	38	9.730	-	-	Klock (1989)

Espécie	Idade (anos)	ME básica (kg/m <sup>3</sup> )	Flexão		Compressão		Cisalhamento (MPa)	Dureza (N)	Fonte
			MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)			
<i>P. oocarpa</i>	10-25	-	65	9.355	43	10.715	13	-	Bortoletto Junior (1993)
<i>P. taeda</i>	11		61	7.025	25	6.967	9	-	Klock (2000)
<i>P. taeda</i>	13	-	56	5.841	29	8.591	9	3.433	LTM (2009)
<i>P. taeda</i>	13	410	55	5.841	29	8.591	9	2.743	Haselein <i>et all</i> (2000)
<i>P. taeda</i>	18	430	63	8.234	40	13.197	10	3.138	LTM (2009)
<i>P. taeda</i>	21		52	8.661	24	9.467	7	-	Lucas Filho (1997)
<i>P. taeda</i>	21	430	-	-	-	-	-	-	Chies (2005)
<i>P. taeda</i> (Arapoti)	21	-	61	9.059	48	-	13	-	LTM (2009)
<i>P. taeda</i>	23	-	72	9,826	25	9.000	11	-	LTM (2009)
<i>P. taeda</i>	10-25	-	82	12.969	44	13.320	13	-	Bortoletto Junior (1993)
<i>P. taeda</i>	30		63	8.659	-	-	-	-	Muniz (1993)
<i>P. taeda</i>	-	-	88	12.300	49	-	10	-	USDA (1955)
<i>P. tecunumanii</i>	18	476	71	8.878	42	15.109	11	3.393	LTM (2009)
<i>P. tecunumanii</i>	18	450	69	8.466	31	-	10	-	Moura <i>et all</i> (2005)

## 7 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e baseados nos resultados obtidos é possível estabelecer as seguintes conclusões:

- A caracterização tecnológica das diferentes espécies de Pinus Tropicais proporcionou a formação de três classes distintas de massa específica e resistência. A primeira classe, considerada superior é composta pelas espécies *P. tecunumanii*, *P. oocarpa* e *P. maximinoi*. A classe intermediária compreende o *P. taeda* (testemunha), o *P. caribaea* var. *hondurensis* e o *P. caribaea* var. *bahamensis*. A classe com os valores mais baixos de massa específica e resistência comporta as espécies *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *P. chiapensis*. A espécie que mais se destacou foi o *P. tecunumanii* tanto em massa específica quanto em propriedades mecânicas para praticamente todos os ensaios, sendo considerada a melhor espécie avaliada. Em termos de utilização, a primeira classe pode ser destinada a usos de maior valor agregado, como por exemplo móveis, esquadrias e laminados, ou usos que requeiram maiores valores de resistência. A classe inferior pode ser destinada à área de painéis de fibras ou partículas, produção de energia ou então a usos que dispensem valores elevados de massa específica e resistência mecânica. A classe intermediária pode ser classificada com potencial utilização em ambos os casos.
- A partir dos estudos de correlação de massa específica aparente com as propriedades mecânicas pode-se concluir que esta propriedade exerceu influência positiva em todos os ensaios. Esta inter-relação entre propriedades foi mais evidente no ensaio de dureza, onde se obteve as maiores valores para os coeficientes de correlação. Verificou-se também que a classe de maior massa específica correspondeu aos maiores valores de resistência, ocorrendo o contrário com as espécies de menor classe de massa específica. Além disso, as equações obtidas neste estudo permitem estimar com relativa precisão valores de resistência para espécies

estudadas, desde que resguardadas as mesmas condições de crescimento, idade e localização geográfica.

- Em relação ao teor de umidade, é possível concluir que este parâmetro físico exerceu altíssima influência sobre os valores médios das propriedades avaliadas. A propriedade mais afetada foi o Módulo de Ruptura, com aumento médio de 49% nesta propriedade quando a madeira passou da condição verde para umidade de equilíbrio de 12%. Em média o ensaio de flexão sofreu variação de 31%, compressão 40%, cisalhamento 40% e dureza 32%. É possível ainda, concluir que os valores de ajuste por equações apresentadas pela USDA (1955) para correção do teor de umidade, não são totalmente adequados para as espécies estudadas.

## 8 REFERÊNCIAS

ABIMCI. Sectorial Study 2008. Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente. CD- ROM.

ABRAF. Anuário estatístico da Abraf. 2008. Disponível em <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF08-BR.pdf>. Acesso em 02/04/2009.

ALCANTARA, G. B.; RIBAS, L. L. F; HIGA, A. R.; RIBAS, K. C. Z. & KOEHLER, H. S. Efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. **Árvore**, v. 31 n. 3 2007, 399-404.

ALENCAR, J. R. **Evaluacion del cambio tecnológico em Pinus: uma aplicacion em la Region Sur de Brasil**. Córdoba, Universidad de Córdoba – Escuela técnica Superior de Ingenieros Agrónomos Y Montes, 186p, Tesis doctoral, 1999.

ARAUJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas da madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3 p. 309-415.

ARGANBRIGHT, D. G. Influence of extractives on bending strenght of redwood (*Sequóia Sempervirens*). **Wood and fiber**, v. 2, n.4, p. 367-372, 1971.

BALDANZI, G. & ARAUJO, A.J. Ensaio comparativo de espécies e procedências de *Pinus*, na Estação de Pesquisas Florestais de Rio Negro, Paraná. **Floresta**, 3(2) p.86-91, 1971.

BARRET, J. D. & LAU, W. Bending streghth adjustments for moisture content for structural lumber. **Wood Science Technology**, n. 25 p.433-447, 1991.

BARRICHELO, L. E. G; KAGEYAMA, P. Y; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. J.; BRITO, J. O. & FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial **IPEF**, n. 15 p. 1-14, 1977.

BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Madison, v. 28, p. 61-72, 1978.

BODIG, J. & JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. Krieger Publ. Malabar, 712 p. 1993.

BORTOLETTO JUNIOR, G.; Estudos de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii*. **Scientia Forestalis**, v.36, n. 79, p. 237-243. 2008

BORTOLETTO JUNIOR, G.; **Indicações para utilização da madeira de seis espécies e variedades de Pinus aplicadas na construção civil.** São Carlos, 1993, 119p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos.

BRASIL, M. A. M.; NICOLIELO, N.; VEIGA, R. A. A Variação da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede em diversas idades na região de Agudos, SP. **Floresta**, v.11, n.1, p. 33-40, 1980.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo. Livraria Nobel S.A, 154 p. 1991.

CARREIRA, M. R; DIAS, A.A. Classificação visual de coníferas: análise de aplicação do método norte americano às espécies de *Pinus spp.* plantadas no Brasil. **Scientia forestalis**, n. 67, p. 78-87, 2005.

CATO, S.; McMILLAN, L.; DONALDSON, L.; RICHARDSON, T; ECHT, C; GARDNER, R. Wood formation from the base to the crown in *Pinus radiata*: gradients of tracheid wall thickness, wood density, radial growth rate and gene expression. **Plant Molecular Biology**, v. 60, p. 565-581, 2006.

CÉSAR, E. R. G.; SHIMIZU, J. Y. & ROMANELLI, R. Variação entre procedências e progênes de *Pinus oocarpa* em Angatuba, SP; **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 17, p. 13-24, 1988.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de Pinus taeda L.** Curitiba, 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

COPANT. Maderas – Selección y colección de muestras. **NORMA PANAMERICANA 458**, 1972a.

COPANT. Maderas – Método de ensayo de flexión estática. **NORMA PANAMERICANA 455**, 1973.

COPANT. Maderas – Método de determinación de la compresión parallel al grano. **NORMA PANAMERICANA 464**, 1972c.

COPANT. Maderas – Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano. **NORMA PANAMERICANA 463**, 1972d.

COPANT. Maderas – Método de determinación de la dureza. **NORMA PANAMERICANA 465**, 1972e.

CORNACHIA, G.; CRUZ, C. D.; BORGES, R. C. G.; PIRES, I. E.; LOBO, P. R.; **Variabilidade genética entre e dentro de procedências de pinheiros tropicais** Disponível em: [webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab](http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab). Acesso em 16/02/2009.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia forestalis** n. 65 p. 102-113, 2004.

DEL CASTILLO, R. F. Ethnobotanical notes on *Pinus strobus* var. *chiapensis*. **Anales del Instituto de Biología**, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botanica 73(2): 319-327, 2002.

DVORAK, W. S.; FURMAN, J. L; HODGE, G. R & JORDAN, A. P. Conservation efforts for *Pinus maximinoi* en Mesoamérica and its potential as a hybrid with *Pinus taeda* in South America, **Anais**, 27<sup>th</sup> Southern Forest tree Improvement Conference, Event Stillwater, 2003.

DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. *Pinus maximinoi* seed collections in México and Central América. CAMCORE. **Bulletin on tropical forestry**. Raleigh, 1988, 47p.

EGUILUZ-PIEDRA, T.; PERRY, J.P. Jr. *Pinus tecunumanii*: **uma espécie nueva de Guatemala**. Ciência Florestal, v.8, n.41, p.3-22, 1983.

ETTORI, L. C; SATO, A. S & SHIMIZU, J.Y. Variação genética em procedências e progênies mexicanas de *Pinus maximinoi*. **Revista Instituto Florestal**, v. 16, n.1 p. 1-9, São Paulo, 2004.

FAO, **Tendências y perspectivas del sector forestal em América Latina Y El caribe**. Estudio FAO: Montes 148, Roma, 2006.

FERRANTE, M. **Seleção de Materiais**, 2ª edição, São Carlos, EDUFSCA, 2002, 286p.

FOELKEL, C. E. B., BARRICHELO, L. E. G. AMARAL, A. C. B. & VALLE, C. F. Variações das características da madeira e propriedades de celulose sulfato de *Pinus oocarpa* em função da idade e do povoamento florestal. **IPEF**, n. 10 p. 81-87, 1975.

FRAGA, D. B; SILVA JUNIOR, F. G.; GONÇALEZ, J. C. **Avaliação da polpação de Pinus taeda com adição de antraquinona**. Disponível em: <http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc093>. Acesso em 01/03/2009.

FRANCIS, J.k. *Pinus caribaea* Morelet. Disponível em <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Pinuscaribaea.pdf> 2008. Acesso em 12/02/2009.

FREITAS, M. L. M.; SEBBENN, A. M.; MORAIS, E.; ZANATTO, A. C. S. SOUSA, C. M. R.; LEMOS, V. Parâmetros genéticos em progênies de polinização aberta de *pinus caribaea* var. *bahamensis*, aos 22 anos de **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 103-111, jun. 2005.

FREITAS, M. L. M.; ZANATTO, A. C. S.; MORAIS, E.; LEMOS, S. V.; FERNANDES, A. C. & SEBBENN, A. M. Teste de procedência de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 32 anos de idade em Bebedouro-SP. **Revista Instituto Florestal**, v.17, n.1, p. 17-23, 2005.

GERHARDS, C. C. Effects of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: and analysis of immediate effects. **Wood and fiber** v. 14 n. 1 p- 4-36, 1982.

GURFINKEL, G. **Wood Engineering**. New Orleans: Southern Forest Products Association, 573p. 1973

GURGEL GARRIDO, L. M. A. *et al.* **Variação genética em progênies e procedências de *Pinus caribaea* Mor. var. *bahamensis*. Barr. et Golf. para produção de resina e características de crescimento.** **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 105-121, 1999.

HASELEIN, C. R; CECHIN, E.; SANTINI, H. J. GATO, D. A. Características estruturais da madeira de *Pinus elliottii* Engelm aos 30 anos de idade. **Ciência Florestal**, v. 10 n.2, 2000 p. 135-144.

HERAS, J. ; BONILLA, M.; MARTÍNEZ, L. W. Germination after heat treatments of *Pinus tropicalis* Morelet and *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* seeds of west Cuban forest. **Ann. For. Science**. N. 63 p. 469-475, 2006.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y. & FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *P. taeda*. **IPEF**, N.7 P. 79-91, 1973.

HODGE, G.R.; DVORAK, W.S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in 48 international trials. **Canadian Journal of Forest Research** v. 31, n. 3, p. 496-511(16), 2001.

HODGE, G.R.; DVORAK, W. S. Genetic parameters and provenance variation of *Pinus tecunumanii* in 78 international trials. **Forest genetics** 6(3) 157-180, 1999.

IWAKIRI, S. **Classificação de madeiras tropicais através do método mecânico não destrutivo**. Curitiba, 1982. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.



JOHNSTON, A. J.; DIETERS, M. J., DUNGEY, H. S & NILLES, D. G. Intraspecific hybridization in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* II. Genetic parameters. **Euphytica**, 129 2: 159-168, 2003.

JONES, P. D.; SCHIMLECK, L. R.; MPETER, G. F.; DANIELS, R. F & CLARK A. Non destructive estimation of *Pinus taeda* L tracheid morphological characteristics for samples from a wide range of sites Georgia. **Wood Science Technology**, p.529-545, 2005.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R.; FERREIRA, M. & NICOLIELO, N. Variação genética entre procedências de *Pinus oocarpa* Schiede na Região de Agudos do Sul – SP. **IPEF**, n. 14, p. 77-120, 1977.

KLOCK, U., MUNIZ, G. B.; NIGOSKI, S., BITTECOURT, E. Características dos traqueóides da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore e de *Pinus taeda* L. **Anais**, Ciadicy, 2002,

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Tese, UFPR, Curitiba, 2000. 291 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr e Golf**. Dissertação, UFPR, 143p. 1989. Curitiba, Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, Forest Service Agricultural. **Handbook**, 2v. 1972, 420 p.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnología de la Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647 p. 1959.

KOLLMANN, F. F. P. & COTÊ, W. A., **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, v. 1, 1968, 592 p.

LANGENDONCK, T. V. **Deformação I** – RM 2, Rios de Janeiro, 1960, 251 p.

LIMA, R. T; JETT, J. B. & DVORAK, W. S. Family stability of wood specific gravity in *Pinus tecunumanii* established on three sites in South America. **New Forests** v. 3, p. 311-316, 1990.

LISBOA, C. D. J.; MATOS, J L. M.; MELO, J. E. **Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras amazônicas**. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais não renováveis – Brasília: IBAMA, 1993, 107p.

LONGSDON, N. B.; CALIL JUNIOR, C. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 18, p. 77-107, 2002.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 13-23, 2002.

LORENZI, H., SOUZA, H. M., TORRES, M. A. V. **Arvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa SP, Instituto Plantarum 2003.

LUCAS FILHO, F. C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1997, 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MACHADO, S. A. M.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**. V. 4, n. 2, p. 185-197, 2002.

MARTA, G. B. T; MÜLLER, P. H Indicações para escolha de espécies de Pinus. Silvicultura e Manejo Florestal: Piracicaba, **IPEF**, 2006. Disponível em [www.ipef.br/silvicultura/escolha\\_pinus.asp](http://www.ipef.br/silvicultura/escolha_pinus.asp). Acesso em 21/02/2009.

MATOS, J. L. M. Qualidade, **Revista da Madeira** v. 68, p. 104-108, 2002.

MATOS, J. L. M **Estudo sobre a produção de painéis estruturais de laminas paralelas de *P. taeda*** Curitiba, 1997, 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MATSUNAGA, D. K. **Avaliação da utilização de madeira comercial de *Pinus taeda* L. e da adequabilidade da Norma Européia Unificada (CEN), à construção de vigas Laminadas coladas**, dissertação, 195 p.,1995. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. Dissertação, Universidade Federal de Lavras, 115p, 2004.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F. & LIMA, J. T. Densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede no sentido longitudinal dos caules. **Cerne** v. 5 n. 1 Lavras MG, 2001.

MENDES, F. S. Teste de progênies de árvores superiores de *Pinus taeda* selecionadas nos EUA com alta capacidade geral de combinação. **IPEF**, n. 25, p. 45-46, 1983.

MENDONÇA, M. A. **Características da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. Curitiba, 1982. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MISSIO, R. F.; MORAES, M. L.T.; DIAS, L.A.S. Efeito do desbaste seletivo sobre a divergência genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 27-36, 2007.

MISSIO, R.F.; CAMBUIM, J.; MORAES, M. L.T. & PAULA, R. C. Seleção simultânea de caracteres em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis*. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 161-168, 2004.

MORAES, M. L. T.; MISSIO, R. F.; SILVA, A. M.; CAMBUIM, J; SANTOS, L. A; RESENDE, M. D. V. Efeito do desbaste seletivo sobre a divergência genética em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 55-65, 2007.

MORAIS, S. A. L., NASCIMENTO, E. A. & MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa*. Parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Árvore**, v. 29 n. 3, 2005.

MORESCHI, J. C. **Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do Sul do Brasil**, Curitiba, 1975. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MOURA, V. P.G.; VALE, A. T.; OLIVEIRA, I. R. M. Caracterização Física e Mecânica da madeira de *Pinus tecunumanii* com vistas a produção de móveis. **Circular Técnica** 43, Embrapa. Brasília DF, 2005.

MOURA, V. P. & VALE, A. T. Variabilidade genética na densidade básica da madeira de *Pinus tecunumanii* procedente do México e da América Central, no cerrado. **Scientia Forestalis**, n.62, p. 104-113, 2002.

MOURA, V. P. G. & DVORAK, W. S. provenance and family variation of families of *Pinus tecunumanii*, grown in the Brazilian Cerrado. **Forest Genetic**. V. 5 n.3 p. 137-145, 1998

MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. & NOGUEIRA, M. V. P. Variação da densidade da madeira, volume e matéria seca do tronco de *Pinus tecunumanii*, procedência de

Mount Pine Ridge, Belize, em Planaltina, Distrito Federal, Brasil. **Scientia Forestalis**, n.57, p. 7-14, 1998.

MOURA, V. P. G.; PARCA, M. L. S; SILVA, M. A. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* centro-americanos em três locais na região dos cerrados. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p.29-44, jan./dez. 1991.

MOURA, V. P.G.; VALE, A. T.; ISAIAS, F.B. Comparação entre dois métodos de avaliação da variabilidade genética em volume, densidade básica da madeira e matéria seca de *Pinus Tecunumanii* (schwd) Eguluz e Perry. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 77-84, 2004.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *P. elliotii* Engelm e *P. taeda* L.** Curitiba, 1993. 253 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MURARA, M. I. M; ROCHA, M. P; TIMOFEICZYK JUNIOR, R. Rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. **Floresta**, v. 35 n. 3, 2005.

NEWTON A. C.; ALLNUTT, T. R.; DVORAK, W. S. DEL CASTILLO, R. F.; ENNOS, R. A. Patterns of genetic variation in *Pinus chiapensis*, a threatened Mexican pine, detected by RAPD and mitochondrial DNA RFLP markers. **Heredity** n. 89, v. 3 p. 191-198, 2002.

OLIVEIRA, F. L; FILHO, J. L. D. P.; LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Efeito da idade em propriedades da madeira de *pinus taeda* L. In 2º Congresso Brasileiro de Industrialização da Madeira e Produtos de base florestal. **Anais**, 2006.

OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., LORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.

PANSHIN, A. J. & DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**, 3ª ed., New York, McGraw-Hill, 1970, v.1, 705 p.

PEDROSA, A. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Produção de vigas estruturais com perfil I com painéis de madeira reconstituída de *Pinus taeda* L e *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Floresta** v. 35, n. 3 2005.

PEREYRA, O & GELID, M. Estudio de la variabilidad de la densidade básica de la mader de *Pinus taeda* para plantacione de Misiones y Corrientes. **Floresta**, v.33 n.1, p. 3-19, 2003.

PFEIL, W & PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**, LTC, RJ, 2003, 223p.

PIO, N. S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Curitiba, 2002. 168 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D. REZENDE, M. A. ABREU, H. S. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm, através de **Floresta e Ambiente**, V. 11, n.1, p. 01 - 06, 2004.

REZENDE, M. A.; SEVERO, E. T. D.; QUINTANA, I. R. Estudo das variações da massa específica em *Pinus oocarpa* através da técnica de atenuação da radiação gama **Floresta** v. 29, n.1/2, p. 67-84, 1999.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, n. 48/49 p. 133-141 1995.

RIGATTO, P. A. C. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. Curitiba, 2007. 137 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão Estática em amostras livres de pequenos defeitos. **Acta Amazônica**, v. 18, n.1-2, p. 147-162, 1988.

ROSADO, S.C.S.; BRUNE, A. Crescimento de árvores: estimativa de correlações entre idades diferentes e sua influência da densidade básica da madeira em *Eucalyptus ssp*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.7, n.1, p. 11-22, 1983.

SALES, A; LAHR, F. A. R.; HELLMEISTER, J. C. In: I Encontro Regional em Madeiras e Estruturas de Madeiras. **Anais** 1993 p. 189-199 IBRAMEN.

SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D V. & ARAUJO, A. J. Estimativa de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3,7 n.5, 2002.

SCANAVA JUNIOR, L; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia forestalis** n. 65 p. 120-129, 2004.

SEBBENN, A. M. *et al.* Variação genética em progênies de meios-irmãos de *Pinus caribaea* Mor.var. *bahamensis* Bar. et Gol. na Região de Bebedouro-SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 6, p. 63-73, 1994.

SELLE, G. L.; SCHNEIDER, P. R. & FINGER, C. A. G. Classificação de sítio para *Pinus taeda* L. através da altura dominante , para a Região de Cambará do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 4, n.1, p. 77-95, 1994.

SILVA, J. C; *et all.* Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SILVA JÚNIOR, F. G. ; FRAGA, D. G. ; GONÇALEZ, J. C. Avaliação da polpação soda de *Pinus taeda* com adição de antraquinona. In: 2 Congresso Ibero Americano de Pesquisa em Celulose e Papel, 2002, Campinas. **Anais**. 2 Congresso Ibero Americano de Pesquisa em Celulose e Papel. São Paulo : Poli-USP, 2002. v. CD-Rom.

SHIMIZU, J.Y. ; SEBBENN, A. M. . Espécies de *Pinus* na silvicultura brasileira. In: Jarbas Yukio Shimizu. (Org.). **Pínus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008, v. 1, p. 49-74.

SHIMIZU, J. Y. *Pinus* na silvicultura brasileira. **Revista da madeira**, 130 p. p. 4-12, 2006.

SHIMIZU, J. Y. Cultivo do *Pinus*, **Sistemas de Produção**, 5 Embrapa Florestas, 2005

SHIMIZU, J. Y.; AMARAL, H. R. B. Variação entre procedências de *Pinus taeda* L. na região de Santa Maria, RS. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 14, p. 13-18, 1987.

SHIMIZU, J.Y. & A.R. HIGA. Variação racial do *P. taeda* L. no Sul do Brasil até o sexto ano de idade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, 2: 1-25, 1981.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. Curitiba, 2005. 151 f. TesDoutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SHIMOYAMA, V. R. S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. Serie técnica **IPEF**, v. 9, n. 27, p. 63-80, 1993.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** Piracicaba, 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SILVA, J. C; OLIVEIRA, *et all*. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SOUZA, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo, 286p., Edgard Blücher, 1982.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York, Ronald Press, 549p. 1964.

STEAD, J. W. Studies f variation in Central American Pines V: a numerical study of variation in Pseudostrobus group. **Silvae genetica**, Frankfurt, v. 32, n. ¾ p. 101-115, 1983.

SUASSUNA, J. A. Cultura do *Pinus*: uma perspectiva e uma preocupação. **Revista Brasil Florestal** n. 29, Ano VIII, 1977.

SYRING. J.; DEL CASTILLO, R. F.; CRONN, R.; LISTON, A. Multiple nuclear loci reveal the distinctiveness of the threateaned. **Systematic botanic**. v. 32 n. 4 p. 703-717, 2007.

TANG, W. & NEWTON, J. N. Loblolly Pine (*Pinus taeda*). **Protocol for somatic embryogenesis in wood plants**, p. 95-106, 2005.

TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. ; MATOS, J. L. M. Variação da massa específica básica em sete espécies de *Pinus* tropicais. In: I SIMADERJ - Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Estado do Rio de Janeiro. **Anais**, 2008.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **ACTA Amazônica**, v. 20, p. 307-319, 1990.

TSOUMIS, G. T. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization** .Thompson Publishing, 479p, 1991.

UPTON, J. L; DONAHUE, J. K. *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. Part II Species description, p. 612-614, 2003.

USDA

VALERI, S. V.; SOARES R. V. e MONTEIRO, R. F. R. Exportação de biomassa de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades. **Floresta** v.19 n.1/2, p. 23-29, 1989.

WALKER, J. C. F. et all **Primary wood processing: principles an practice**. Chapman & Hall. 595p. 1983.

WANG, S. Y.; LIN, C. J.; CHIU, C. M.; CHEN, J. H.; YUNG, T. H. Dynamic modulus of elasticity and bending properties of young Taiwania trees grown with different thinning and pruning treatments. **Journal Wood Science** 51, p. 1-5, 2005.

WEBER, E. densidad básica de madera de *Pinus teda* L, de diferentes idades, Misiones, Argentina. **Floresta**, v. 35, n. 3, p. 487-494, 2005.

WETELA, A. E.; BILA, A. B. Comportamento de pinheiros tropicais e sub-tropicais em Penhalonga , Província de Marica. In: 5º congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, **Anais**. Maputo, 2008.

WOOLASTON, R. R.; KANOWSKI, P. J.; NIKLES, D. G. Genotype-Environment interactions in *Pinus caribaea* var *hondurensis* in Queensland, Australia. **Silvae Genética** n. 40, v. 5/6, 224-228p. 1991.

WRIGHT, J. A. & WESSELS S. A. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *P. maximinoi* and *P. patula*, **IPEF**, n. 2, p. 39-44, 1992.

WRIGHT, J. A. Variation in wood properties of *Pinus oocarpa* and *P. patula* ssp. *tecunumanii* provenances at six sites. **Silvae genetica** v. 39, n. 1, 1990.

WRIGTH, J. A.; GIBSON, G. L & BARNES, R.O, Variation of stem and wood density of provenances os *Pinus oocarpa* and *P. patula* ssp *tecunumanii* at Agudos, SP, Brazil. **IPEF**, n. 32 p. 21-23 1986.

XAVIER, J. A.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. Variabilidade da massa específica básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio In: I SIMADERJ - Simpósio de Ciência e Tecnologia da Madeira do Estado do Rio de Janeiro. **Anais**, 2008.

ZHENG, Y.; ENNOS, R.; WANG, H. Provenance variation and genetic parameters in a trial of *Pinus caribaea* var. *bahamensis* Barr. and Golf. **Forest Genetics**, v. 1, n. 3, p. 167-174, 1994.